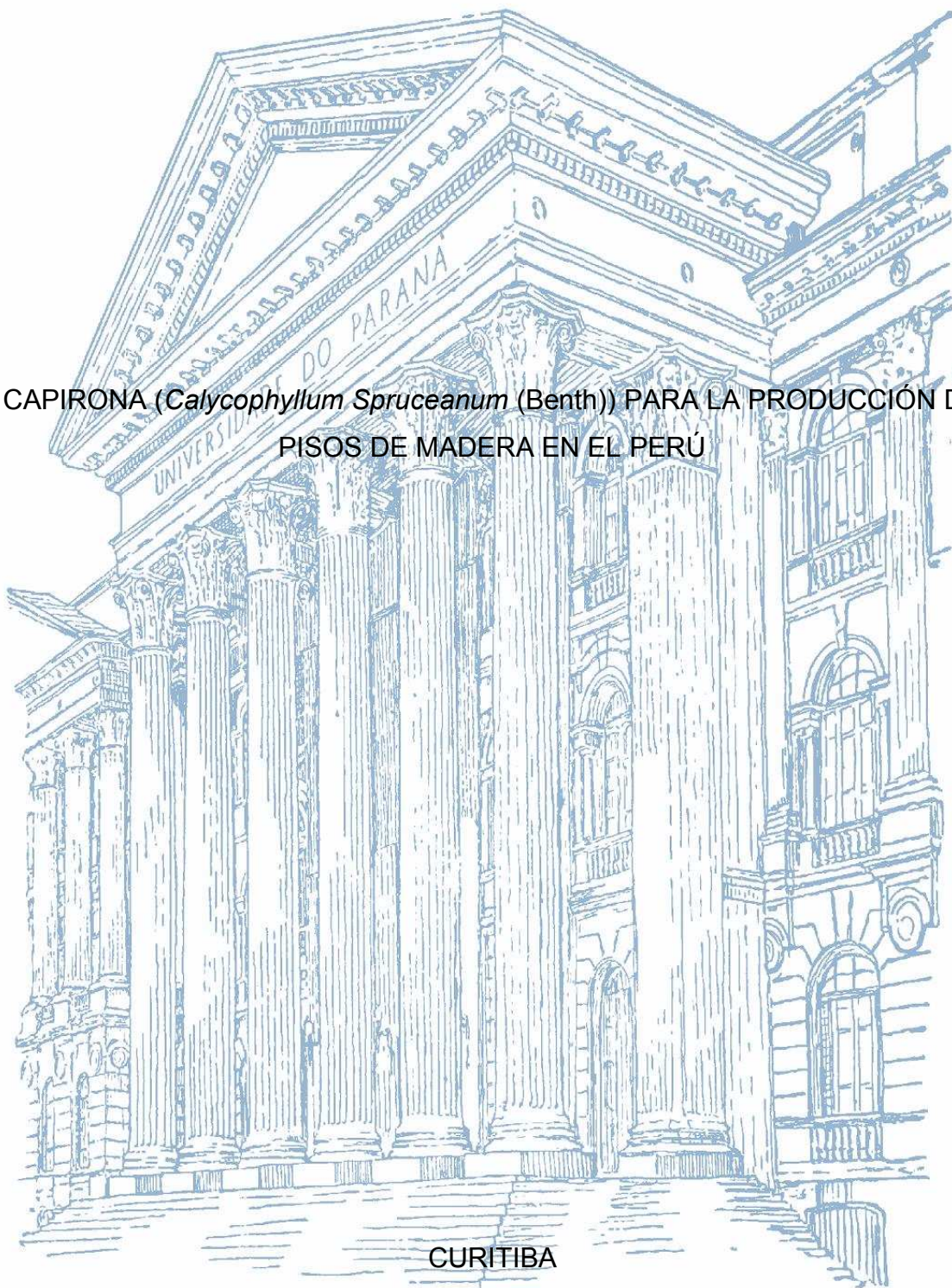


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GRACIELA ISABEL EGOAVIL CUEVA GÁLVEZ

CAPIRONA (*Calycophyllum Spruceanum* (Benth)) PARA LA PRODUCCIÓN DE
PISOS DE MADERA EN EL PERÚ



CURITIBA

2020

GRACIELA ISABEL EGOAVIL CUEVA GÁLVEZ

CAPIRONA (*Calycophyllum spruceanum* (Benth)) PARA LA PRODUCCIÓN DE
PISOS DE MADERA EN EL PERÚ

Tese apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial á obtenção do Título de Doutor em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Pereira da Rocha

Coorientadores: Prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke
Prof. PhD. Héctor E. Gonzáles
Mora

CURITIBA

2020

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Cueva Gálvez, Graciela Isabel Egoavil

Capirona (*Calycophyllum Spruceanum (Benth)*) para la producción de pisos de madera en el Perú / Graciela Isabel Egoavil Cueva Gálvez. – Curitiba, 2020.

151 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Pereira da Rocha

Coorientadores: Prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke

Prof. PhD. Héctor Enrique Gonzáles Mora

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 27/10/2020.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

1. Madeira - Peru. 2. Madeira - Produtos - Peru. 3. Pisos - Peru.
4. Madeira - Propriedades mecânicas. 5. Teses. I. Rocha, Márcio Pereira da. II. Klitzke, Ricardo Jorge. III. Gonzáles Mora, Héctor Enrique. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.833(85)

Bibliotecária: Berenice Rodrigues Ferreira – CRB 9/1160

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **GRACIELA ISABEL EGOAVIL CUEVA GÁLVEZ** intitulada: **CAPIRONA (*Calycophyllum spruceanum* (Benth)) PARA LA PRODUCCIÓN DE PISOS DE MADERA EN EL PERÚ**, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 27 de Outubro de 2020.

Assinatura Eletrônica

27/10/2020 20:32:31.0

MÁRCIO PEREIRA DA ROCHA

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

27/10/2020 20:14:30.0

RAQUEL MARCHESAN

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE TOCANTINS)

Assinatura Eletrônica

28/10/2020 17:24:44.0

THIAGO CAMPOS MONTEIRO

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

28/10/2020 17:10:55.0

JOSÉ REINALDO MOREIRA DA SILVA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS)

Assinatura Eletrônica

28/10/2020 20:55:09.0

GRAZIELA BAPTISTA VIDAURRE DAMBROZ

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO)

Dedico este trabajo a mi querida madre, Teresa Gálvez Sánchez (in memoriam), a mi papá, Roque Egoavil Cueva Valerio (in memoriam) a mis hermanos Elina, Mario y Roque Egoavil Cueva Gálvez, en todo momento estuvieron presentes con su apoyo, cariño y comprensión.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Federal do Paraná (UFP), pós-graduação em Engenharia Florestal, por las facilidades brindadas en atención al convenio de cooperación suscrito entre este y la Universidad Nacional Agraria La Molina, en el área de Ciencias Forestales.

A mi orientador, Profesor Dr. Márcio Pereira da Rocha, por sus enseñanzas, amistad, orientación y consejos durante la realización del doctorado.

Al Dr. Ricardo Jorge Klitzke, co-orientador, por sus enseñanzas, su comprometida colaboración y por su amistad.

Al Dr. Antonio Carlos Batista que conjuntamente el Dr. Marcio Pereira da Rocha, realizaron una efectiva gestión para que se concrete el convenio entre la Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú y la Universidad Federal de Paraná (UFPR), Brasil.

Al Dr. José Reinaldo M. da Silva, por su gran ayuda y oportuna disposición para brindar información y conocimientos técnicos en el manejo del equipo para ensayos de hendidura causada por cargas aplicadas en pequeñas áreas.

A la Dra. Carmen Belezmore, Vice rectora de Investigación de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por el apoyo en el compromiso de los fondos del vicerrectorado en el financiamiento para la fabricación de dos equipos mecánicos, que permitieron la culminación de los ensayos necesarios para la culminación del presente trabajo de investigación.

Al Centro de Innovación Productiva y Transferencia Tecnológica de la Madera CITEmadera, por brindar facilidades en el uso de equipos para la ejecución de pruebas de simulación de pisos en servicios, en especial a la Ing. Jessica Moscoso, directora de CITEiMadera; Ing. Sandra Koc, jefa del área de Laboratorio y Normalización, Ing. José Ugarte, Ing. Javier Harens, Ing. Kusi Milla Sánchez, Ing. John Bartolo Cuba y a todos los profesionales que trabajan en dicha institución, por su gran disposición al momento de realizar los ensayos, que fue de fundamental importancia en la realización de esta etapa del trabajo de investigación.

Al Ing.Mg.Sc. Moisés Acevedo Mallque, Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por sus consejos y conocimientos impartidos durante la ejecución del presente trabajo.

Al PhD. Enrique Gonzáles Mora, Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por su comprometida disposición en revisar el primer artículo Caracterización anatómica y variabilidad de los componentes de la madera de *Calycophyllum spruceanum* (Benth). Hook, antes de su publicación.

Al PhD. Roger Hernández Peña, profesor de la Universidad de Laval, por los diversos artículos científicos facilitados.

A los jefes y profesores de los Laboratorios de Preservación de la Madera, Ensayos Tecnológicos, Química Forestal y Anatomía de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina: Florencio Trujillo, Martin Araujo, Moisés Acevedo, Enrique Gonzales, Daysi Guzmán, Manuel Chavesta y Rolando Montenegro, por su comprometida disposición en la realización de los ensayos físicos, mecánico y químicos.

Al Ing. Álvaro Guerra Miranda, por su apoyo en la preparación, eficiente y minuciosa, de las probetas de madera para la ejecución de los ensayos físico, mecánicos, así como las pruebas de simulación de pisos en servicio.

A la Bach. Pamela Castro Tamayo y Bach. Lucero Mayuni Allica por su apoyo en la realización de los trabajos de laboratorio de Tecnología y Anatomía de la madera.

RESUMO

Para que a madeira de *Calycophyllum spruceanum* plantada no Peru possa se tornar uma boa opção no mercado de pisos, é necessário que a madeira atenda a determinadas características que a qualificam para este fim, em relação às suas propriedades anatômicas, físicas, mecânicas e químicas e ao bom comportamento como piso de madeira maciça. Essas características são atualmente desconhecidas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho da madeira de *C. spruceanum* de uma plantação de 20 anos para a fabricação de pisos de madeira maciça. As características anatômicas, físicas, mecânicas e químicas foram determinadas para estabelecer o conhecimento da madeira como matéria prima, enquanto os testes de simulação de pisos em serviço compostos de testes de carga rolante, cargas concentradas em pequenas áreas, o impacto da queda da esfera de aço, abrasividade e atrito com e sem acabamento, foram realizados para estabelecer o comportamento da madeira como produto. Os resultados mostraram que a madeira de *C. spruceanum* se caracterizou por ter um alto valor de massa específica básica e dureza Janka elevada, bem como altos valores de resistência à flexão estática, compressão paralela às fibras e cisalhamento, uma alta porcentagem de fibras, ausência de parênquima axial e componentes químicos dentro da faixa definida para latifoliadas, que são características favoráveis para a fabricação de pisos. Como piso de madeira maciça, apresentou boa resistência para os esforços máximos nos testes de carga rolante, impacto à queda da esfera de aço, abrasividade e altos coeficientes de atrito estático e dinâmico. Por outro lado, apresentou baixa resistência no teste de cargas concentradas aplicadas em áreas pequenas. A madeira acabada melhorou significativamente seu desempenho nos testes de cargas concentradas aplicadas em pequenas áreas e nos coeficientes de atrito estático e dinâmico. As características anatômicas, químicas, físicas e mecânicas da madeira explicaram o bom comportamento da espécie nos testes de impacto, carga rolante, abrasividade e atrito aplicados. Com os resultados obtidos, conclui-se que a madeira de *C. spruceanum* das plantações é viável para ser utilizada na fabricação de pisos, devido ao seu bom desempenho nos testes realizados.

Palavras chave: Propriedades da madeira, pisos de madeira, testes de simulação de pisos, abrasividade, coeficiente de fricção.

ABSTRACT

In order for the *Calycophyllum spruceanum* wood planted in Peru to become a good option for the flooring market, the wood needs to meet certain characteristics enabling the species for such purpose, in terms of its anatomical, physical, mechanical, and chemical properties and its good performance as solid wood flooring. At this point, these characteristics are unknown. The aim of this study was to assess the performance of *C. spruceanum* wood from a 20-year-old plantation for the manufacturing of solid wood flooring. The anatomical, physical, mechanical, and chemical properties of the wood were established to determine the behavior of the wood as raw material, while the in-service floor simulation tests composed of rolling load tests, concentrated load tests applied in small areas, steel ball drop impact testing, abrasiveness and friction with and without finishing were performed to determine the behavior of the wood as a product. The results showed that *C. spruceanum* wood was characterized by its high basic specific mass and high Janka hardness, as well as high resistance to static bending, compressive strength parallel to the fiber and shear strength, high percentage of fibers and lack of axial parenchyma and chemical components within the range established for broadleaf woods, which are favorable properties for floor manufacturing. As a solid wood floor, it presented good resistance to the maximum stresses in the rolling load, steel ball drop impact and abrasiveness tests, and high static and dynamic friction coefficients. However, low resistance was found in the concentrated load test applied in small areas. The finished wood significantly improved its performance in the concentrated load test applied in small areas and in the static and dynamic friction coefficient tests. The anatomical, chemical, physical, and mechanical properties of the wood seem to explain the good performance of the species in the impact, rolling load, abrasiveness, and friction tests. With the results obtained, it can be concluded that the *C. spruceanum* wood from plantations is viable for use in floor manufacturing, due to its good performance in the tests performed.

Key words: Wood properties, wood floors, floor simulation tests, abrasiveness, friction coefficient.

RESUMEN

Para que la madera de *Calycophyllum spruceanum* plantada en Perú, se torne una buena opción en el mercado de pisos, es necesario que reúna ciertas características que lo habiliten para tal fin, en lo relacionado a sus propiedades anatómicas, físicas, mecánicas, y químicas y buen comportamiento como piso de madera maciza. Estas características actualmente son desconocidas. El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento de la madera de *C. spruceanum* de una plantación de 20 años para la fabricación de pisos de madera maciza. Las características anatómicas, físicas, mecánicas y químicas, fueron determinadas para el conocimiento de la madera como materia prima. Mientras que, los ensayos de simulación de pisos en servicio compuesto por ensayos de carga rodante, cargas concentradas en pequeñas áreas, el impacto de caída de la esfera de acero, abrasividad y rozamiento con acabado y sin acabado, se realizaron para conocer el comportamiento de la madera como producto. Los resultados mostraron que la madera de *C. spruceanum* se caracterizó por tener una alta masa específica básica y alta dureza Janka, así como altos valores de resistencia a la flexión estática, compresión paralela a las fibras y cizallamiento, un alto porcentaje de fibras, parénquima axial ausente y componentes químicos dentro del rango fijado para latifoliadas, que son características favorables para la fabricación de pisos. Como piso de madera maciza presentó buena resistencia para los esfuerzos máximos en los ensayos de carga rodante, impacto a la caída de la esfera de acero, abrasividad y altos coeficientes de rozamiento estático y dinámico; por otro lado, presentó baja resistencia en el ensayo de cargas concentradas aplicadas en pequeñas áreas. La madera con acabado mejoró significativamente su desempeño en los ensayos de cargas concentradas aplicadas en pequeñas áreas y en los coeficientes de rozamiento estático y dinámico. Las características anatómicas, químicas, físicas y mecánicas de la madera, estarían explicando el buen comportamiento de la especie en los ensayos de impacto, carga rodante, abrasividad y rozamiento aplicado. Con los resultados obtenidos se concluye que la madera de *C. spruceanum* procedente de plantaciones es viable para ser utilizada en la fabricación de piso, por su buen desempeño en los ensayos realizados

Palabras-claves: Propiedades de la madera. Pisos de madera. Ensayos de simulación de pisos. Abrasividad. Coeficiente de rozamiento.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	ÁRBOL DE <i>Calycophyllum spruceanum</i> a) COPA; b) TRONCO	27
FIGURA 2 -	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LA PLANTACIÓN DE <i>Calycophyllum spruceanum</i> Y ORIGEN DE LAS MUESTRAS	52
FIGURA 3 -	ESQUEMA REPRESENTATIVO DE LA OBTENCIÓN DE TROZAS Y RODAJAS	54
FIGURA 4 -	(A): SIERRA DE CINTA VERTICAL UTILIZADA PARA LA OBTENCIÓN DE TABLAS. (B): TROZAS DE <i>Calycophyllum spruceanum</i>	55
FIGURA 5 -	SECADO DE LA MADERA DE <i>Calycophyllum spruceanum</i> EN HORNO ELÉCTRICO DE 1 m ³ DE CAPACIDAD	56
FIGURA 6 -	ESQUEMA DE MUESTREO DE LOS DISCOS EN LOS ÁRBOLES Y PROBETAS PARA LA CARACTERIZACIÓN ANATÓMICA DE LA MADERA DE <i>Calycophyllum spruceanum</i>	57
FIGURA 7 -	DETERMINACION DE LA EXCENTRICIDAD DE LA MÉDULA DE <i>Calycophyllum. spruceanum</i> EN AUTOCAD 2019	60
FIGURA 8 -	EQUIPO PARA ENSAYO DE CARGA RODANTE EN PISOS DE MADERA DE <i>Calycophyllum spruceanum</i>	65
FIGURA 9 -	OBTENCIÓN DE MEDIDAS PARA EL CÁLCULO DE DEPRESIÓN OCASIONADO POR ENSAYO DE CARGA RODANTE	66
FIGURA 10 -	EQUIPO Y DISPOSICIÓN DE LAS PROBETAS DE PRUEBA PARA EL ENSAYO DE HENDIDURA EN PEQUEÑAS ÁREAS	67
FIGURA 11 -	OBTENCION DE MEDIDAS PARA EL CÁLCULO DE DEPRESIÓN OCASIONADO POR EL ENSAYO DE HENDIDURA EN MADERA DE <i>Calycophyllum.spruceanum</i>	68
FIGURA 12 -	EQUIPO DE ENSAYO DE CAIDA DE ESFERA DE ACERO Y DISPOSICIÓN DE LAS PROBETAS PARA EL ENSAYO EN MADERA DE <i>Calycophyllum spruceanum</i>	69

FIGURA 13 - EQUIPO <i>TABER ABRASER</i> UTILIZADO PARA EL ENSAYO DE ABRASIVIDAD	70
FIGURA 14 - OBTENCIÓN DE MEDIDAS PARA EL CÁLCULO DE DEPRESIÓN OCASIONADA POR EN ENSAYO DE ABRASIVIDAD EN MADERA DE <i>Calycophyllum sprueceanum</i>	71
FIGURA 15 - REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE FRICCIÓN ESTÁTICO Y DINÁMICO EN MADERA DE <i>Calycophyllum sprueceanum</i>	72
FIGURA 16 - CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS MACROSCÓPICAS DE LA MADERA DE <i>calycophyllum spruceanum</i> DE 20 AÑOS.....	74
FIGURA 17 - CORTES ANATÓMICOS DE LA <i>C. spruceanum</i> A) POROS SOLITARIOS OVALADOS, ALGUNOS MÚLTIPLES RADIALES B) RADIOS HETEROCELULARES CON CELULAS PROCUMBENTES EN EL CENTRO Y ERECTAS EN EL EXTREMO C) VASOS CON PUNTEADURAS AREOLADAS DISPUESTAS EN FORMA ALTERNA.	75
TABLA 18 - VALORES MEDIOS DE DEPRESIÓN ORIGINADA POR LA CARGA RODANTE DE 890 N EN MADERA DE <i>Calycophyllum spruceanum</i> DE UNA PLANTACIÓN.....	101
FIGURA 19 - VALORES MEDIOS DE DEPRESIÓN EN MADERA DE <i>Calycophyllum spruceanum</i> CON ACABADO Y SIN ACABADO PROVOCADO POR LA CARGA RODANTE DE 890N.	102
FIGURA 20 - VALORES MEDIOS DE IDENTACIÓN CAUSADA POR APLICACIÓN DE CARGAS PUNTUALES EN MADERA CON ACABADO Y SIN ACABADO DE <i>Calycophyllum spruceanum</i> , DE UNA PLANTACIÓN	107
FIGURA 21 - RELACIÓN ENTRE LA DEPRESIÓN CAUSADA POR LA CAÍDA DE LA ESFERA DE ACERO Y LAS ALTURAS DE CAÍDA PARA LOS PISOS DE LA MADERA EVALUADA EN SUS DIFERENTES COMPOSICIONES	110

FIGURA 22 - VALORES MEDIOS DE LAS DEPRESIÓN OCURRIDAS POR LA ABRASIÓN EN LA MADERA CON ACABADO Y SIN ACABADO DE <i>Calycophyllum spruceanum</i> DE UNA PLANTACIÓN.....	114
FIGURA 23 - VALORES MEDIOS DE COEFICIENTES DE FRICCIÓN ESTÁTICO Y FRICCIÓN DINÁMICO DE LA MADERA CON ACABADO Y SIN ACABADO DE <i>Calycophyllum spruceanum</i> , DE UNA PLANTACIÓN	118

LISTA DE CUADROS

CUADRO 1 – CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO DE ACABADO APLICADO A MADERA DE <i>Calycophyllum.spruceanum</i>	64
--	----

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 -	CLASES DE RESISTENCIA Y RIGIDEZ PARA MADERAS DE DICOTILEDÓNEAS A 12% DE HUMEDAD	39
TABLA 2 -	ESPECIES Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS PRINCIPALES MADERAS PERUANAS UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE PARQUET	43
TABLA 3 -	PRUEBAS ÍNDICES PARA DETERMINAR LAS CLASES DE CALIDAD DE PISOS DE MADERA	47
TABLA 4 -	DIMENSIONES DE LOS ÁRBOLES DE <i>Calycophyllum spruceanum</i>	53
TABLA 5 -	PROGRAMA UTILIZADO PARA EL SECADO DE LA MADERA DE <i>Calycophyllum spruceanum</i>	56
TABLA 6 -	DISTRIBUCIÓN DE NIVELES Y FACTORES PARA LAS PRUEBAS DE SIMULACIÓN DE PISOS N SERVICIO DE <i>Calycophyllum spruceanum</i> de 20 AÑOS	64
TABLA 7 -	VALORES PROMEDIOS DE LOS ELEMENTOS ANATÓMICOS DE <i>Calycophyllum spruceanum</i>	77
TABLA 8 -	VALORES MEDIOS DE LA VARIACIÓN LONGITUDINAL Y RADIAL DE LAS CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS DE <i>Calycophyllum spruceanum</i>	80
TABLA 9 -	VALOR MEDIO DE LA EXCENTRICIDAD DE LA MÉDULA EN MADERA DE <i>Calycophyllum spruceanum</i> EN ÁRBOLES DE 20 AÑOS.	82
TABLA 10 -	VALORES PROMEDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y CONTRACIONES LINEALES VOLUMÉTRICAS DE <i>Calycophyllum spruceanum</i> DE 20 AÑOS	85
TABLA 11 -	VALORES MEDIOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE <i>Calycophyllum spruceanum</i> OBTENIDAS A 12% DE HUMEDAD	88

TABLA 12 - VALORES MEDIOS A 12% DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA <i>Calycophyllum spruceanum</i> COMPARADA CON ESPECIES TROPICALES PARA PISOS EN PERÚ Y BRASIL	90
TABLA 13 - DUREZA JANKA DE ALGUNAS ESPECIES TROPICALES PERUANAS, UTILIZADAS EN LA FABRICACIÓN DE PISOS	93
TABLA 14 - RESULTADOS MEDIOS OBTENIDOS PARA LAS PROPIEDADES MECÁNICAS COMPRESION PARALELA A LAS FIBRAS Y CIZALLAMIENTO DE LA MADERA DE <i>Calycophyllum spruceanum</i> DE UNA PLANTACIÓN.....	94
TABLA 15 - COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DE <i>Calycophyllum spruceanum</i> , DE 20 AÑOS.	95
TABLA 16 - COMPOSICIÓN QUÍMICA PROXIMAL DE LA <i>Calycophyllum spruceanum</i> DE UNA PLANTACIÓN COMPARADA CON OTRAS ESPECIES MADERABLES.....	97
TABLA 17 - MASA ESPECIFICA BÁSICA Y DUREZA JANKA DE LA MADERA CERCA A LA MÉDULA Y CERCA A LA CORTEZA DE <i>Calycophyllum spruceanum</i> DE UNA PLANTACIÓN	98
FIGURA 18 - RELACIÓN ENTRE MASA ESPECÍFICA BÁSICA Y DUREZA JANKA DE LA MADERA DE <i>Calycophyllum spruceanum</i> DE CURIMANÁ-UCAYALI, PERÚ.....	100
TABLA 18 - VALORES MEDIOS DE DEPRESIÓN ORIGINADA POR LA CARGA RODANTE DE 890 N EN MADERA DE <i>Calycophyllum spruceanum</i> DE UNA PLANTACIÓN.....	101
TABLA 19 - VALORES MEDIOS DE IDENTACIÓN CAUSADA POR LA APLICACIÓN DE CARGAS PUNTUALES SOBRE LA MADERA DE <i>Calycophyllum spruceanum</i> DE UNA PLANTACIÓN.....	105

TABLA 21 - ECUACIÓN AJUSTADA PARA DATOS DE HENDIDURA Y VALORES DE ÍNDICES DE HENDIDURA POR IMPACTO DE LA CAIDA DE LA ESFERA DE ACERO SOBRE LA MADERA DE <i>Calycophyllum spruceanum</i> DE UNA PLANTACIÓN	111
TABLA 22 - VALORES MEDIOS DE DEPRESION OCURRIDAS POR LA ABRASION EN LA MADERA DE <i>Calycophyllum spruceanum</i> DE UNA PLANTACIÓN	113
TABLA 23 - VALORES MEDIOS DE COEFICIENTES DE FRICCIÓN ESTÁTICO Y FRICCIÓN DINÁMICO PARA LA MADERA DE <i>Calycophyllum spruceanum</i> DE UNA PLANTACIÓN	117

LISTA DE SIGLAS

ABNT	- Asociación Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	- Análisis de varianza
ANPM	- Asociación Nacional de Productores de Pisos de Madera
ANSI	- American <i>National Standards Institute</i>
ASTM	- <i>American Society for Testing and Materials</i>
CITEmadera	- Centro de Innovación Tecnológica de la Madera
CNF	- Cámara Nacional Forestal
CNM	- Confederación Nacional de la madera
DAP	- Diámetro a la Altura del Pecho
DBCA	- Diseño de Bloques Completo al Azar
DCA	- Diseño Completo al Azar
FAO	- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GL	- Concentración porcentual alcohólica en volumen
HC	- Altura Comercial
IAWA	- <i>International Association of Wood Anatomists</i>
IBDF	- Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
IMADAP	- Incremento Medio Anual en Diámetro a la altura de Pecho
IMAH	- Incremento Medio Anual en Altura
INACAL	- Instituto Nacional de Calidad
INRENA	- Instituto Nacional de Recursos Naturales
JUNAC	- Junta del Acuerdo de Cartagena
MEB	- Masa Específica Básica
MIDAGRI	- Ministerio de Agricultura
MOE	- Módulo de Elasticidad
MOR	- Módulo de Ruptura
NBR	- Norma Brasileira
pH	- Potencial de Hidrógeno
SERFOR	- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre

TAPPI - *Technical Association of the Pulp and Paper Industry*
UNALM - Universidad Nacional Agraria La Molina

LISTA DE UNIDADES

%	- Porcentaje
°C	- Grado Celsius
cm	- Centímetro
g	- Gramo
g.cm ⁻³	- Gramo por centímetro cúbico
ha	- Hectárea
k.cm ⁻²	- Kilogramo por centímetro cuadrado
kg	- Kilogramo
kg-m	- Kilogramo metro
m	- Metro
m ³	- Metro cúbico
m ³ .ha ⁻¹	- Metro cúbico por hectárea
mm	- Milímetro
MPa	- Megapascal
N	- Newton
N°.mm ⁻¹	- Número de unidades por milímetro lineal
N°.mm ⁻²	- Número de unidades por milímetro cuadrado
μm	- Micra

INDICE

1	INTRODUCCION	24
1.1	CONTEXTO Y PROBLEMA.....	24
1.2	OBJETIVOS.....	25
1.1.1	Objetivo General.....	25
1.1.2	Objetivos Específicos	25
2	REVISION LITERATURA	26
2.1	CONSIDERACIONES GENERALES	26
2.2	PLANTACIONES FORESTALES DE <i>Calycophyllum spruceanum</i> Benth EN EL PERÚ.	28
2.3	PROPIEDADES DE LA MADERA	29
2.3.1	Propiedades anatómicas	29
2.3.2	Propiedades físicas	33
2.3.3	Propiedades mecánicas	37
2.3.4	Propiedades químicas	39
2.4	PISOS DE MADERA	41
2.4.1	Tipo de pisos de madera	44
2.4.2	Ensayo de simulación de pisos de madera en servicio	44
3	MATERIALES Y MÉTODOS	52
3.1	LOCALIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	52
3.2	SELECCIÓN DE LOS ÁRBOLES Y OBTENCIÓN DE TROZAS	53
3.3	ASERRIO DE LAS TROZAS	54
3.4	CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LA MADERA.....	57
3.4.1	Propiedades anatómicas	57
3.4.2	Propiedades físicas	60

3.4.3	Propiedades mecánicas	61
3.4.4	Caracterización química	62
3.5	ENSAYOS PARA SIMULACIÓN DE PISOS DE MADERA EN SERVICIO ..	62
3.5.1	Ensayo de carga rodante.....	64
3.5.2	Ensayo de carga concentrada en pequeñas áreas.....	66
3.5.3	Ensayo de impacto de caída de esfera de acero	68
3.5.4	Ensayo de abrasividad	70
3.5.5	Ensayo de rozamiento estático y dinámico.....	71
3.6	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	73
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	74
4.1	CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LA MADERA.....	74
4.1.1	Propiedades anatómicas	74
4.1.2	Masa específica básica, aparente y contracción de la madera.....	83
4.1.3	Propiedades mecánicas	87
4.1.4	Propiedades químicas	94
4.2	ENSAYOS DE SIMULACIÓN DE PISOS EN SERVICIO	97
4.2.1	Masa específica básica y Dureza Janka.....	98
4.2.2	Ensayo de carga rodante.....	100
4.2.3	Ensayo de cargas concentradas en pequeñas áreas	104
4.2.4	Ensayo de impacto de caída de esfera de acero	108
4.2.5	Ensayo de abrasividad	112
4.2.6	Ensayo de fricción estático y dinámico	115
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	120
	REFERENCIAS.....	122

ANEXO 1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA MASA ESPECÍFICA BÁSICA Y DUREZA JANKA	135
ANEXO 2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ENSAYO DE CARGA RODANTE.....	135
ANEXO 3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ENSAYO DE APLICACIÓN DE CARGAS EN PEQUEÑAS ÁREAS	138
ANEXO 4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ENSAYO DE IMPACTO DE CAÍDA DE ESFERA DE ACERO	140
ANEXO 5. VALORES MEDIOS DE DEPRESIÓN PROVOCADO POR EL IMPACTO DE LA ESFERA DE ACERO EN LA MADERA DE C. Spruceanum CON ACABADO Y SIN ACABADO A LA ALTURA DE 180 cm.	148
ANEXO 6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ENSAYO DE ABRASIVIDAD.....	148
ANEXO 7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ENSAYO DE FRICCIÓN	150

1 INTRODUCCION

1.1 CONTEXTO Y PROBLEMA

Resultados de investigaciones de mercado a nivel mundial, señalan que la demanda de productos forestales seguirá creciendo debido al aumento de la población, mayor poder adquisitivo y costumbres de consumo cada vez en aumento, situación que está motivando una deforestación acelerada de los bosques naturales.

En el Perú el recurso madera proviene en gran parte de bosques naturales que se caracterizan por su heterogeneidad de especies maderables, propiciando una extracción selectiva, cada vez más alejadas de los centros de transformación y con productos cada vez mas escasos y con bajos rendimientos en su transformación.

En este contexto, las plantaciones con especies de rápido crecimiento, surgen como una alternativa viable para satisfacer esta escasés de productos, reflejada en una balanza comercial forestal negativa de 6,5 por ciento en el año 2017 respecto al año anterior, con aumento de las importaciones, evidenciando una demanda insatisfecha y por consiguiente un mercado potencial para la comercialización de maderas de mayor valor comercial, como es el caso de *la Calycophyllum spruceanum*, cuyo mercado está orientado principalmente al sector construcción que tiene como productos de mayor demanda, los pisos y sócalos de madera (GUARIGUATA et al., 2017)

Al respecto, el Perú posee 9,44 millones de hectáreas de tierras con aptitud forestal, de las cuales el 25% se encuentran en la selva, que podrían ser reforestadas con especies maderables de interés para el mercado nacional e internacional (SERFOR, 2019). Se cuenta con la voluntad política del Gobierno Central a través de la Ley Forestal y de Fauna Silvestre N° 28763 que promueve la Gestión de Plantaciones Forestales y Sistemas Agroforestales; y el apoyo del sector privado que reconocen a las plantaciones como una excelente oportunidad de negocios. Las empresas privadas Reforesta Amazónica S.A., Reforesta Perú S.A.C., PLANTAR, Consorcio Agroforestal S.A.C, entre otras, vienen trabajando desde 2007 en

plantaciones con fines industriales y ambientales, siendo la *C. spruceanum* una de las especies que consideran de mayor valor, de rápido crecimiento y mejor rentabilidad económica.

Sin embargo, no tienen definido el uso que se les dará en el momento de su aprovechamiento, relacionado principalmente con el poco conocimiento de las características tecnológicas de la *C. spruceanum* proveniente de plantaciones, por lo que, considerando su importancia, cada vez en aumento en reforestación con fines comerciales y la poca información técnica de esta madera producida en el Perú, en el presente estudio se realizó la caracterización tecnológica de la madera de *C. spruceanum* de 20 años procedente de una plantación en la región amazónica, para la producción de pisos de madera maciza. Los resultados del estudio contribuirán a establecer patrones que puedan clasificarla y destinar su uso de forma correcta para obtener un producto de calidad y con mayor valor agregado.

Hipótesis de la presente investigación: La *Calycophyllum spruceanum* reúne características anatómicas, físicas, mecánicas, químicas y de simulación de pisos en servicio para ser usada en la producción de pisos de madera maciza.

1.2 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

Caracterizar la madera de *C. spruceanum* proveniente de plantaciones forestales para la fabricación de pisos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Evaluar las características anatómicas y químicas de la madera de *C. spruceanum* dirigido a la industria de pisos.
- Analizar las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *C. spruceanum* dirigido a la producción de pisos.

- Evaluar el comportamiento de la madera de *C. spruceanum* en ensayos específicos sobre suelo macizo.

2 REVISION LITERATURA

2.1 CONSIDERACIONES GENERALES

C. spruceanum (Benth), que pertenece a la familia Rubiaceae, es una especie arbórea pionera en la sucesión de la planicie aluvial de Perú, Brasil, Ecuador y Colombia, (LINARES et al., 1992). En el Perú, la Confederación Nacional de la Madera (1994) y la Camara Nacional Forestal (1999) la ubican en los departamentos de Amazonas, San Martín, Huánuco, Loreto, Madre de Dios y Ucayali.

De acuerdo al país de origen, se le reconoce como capirona negra y palo mulato (Perú), guayabochi y palo blanco (Bolivia), ibiro moroti, (Argentina), pau mulato y bayabichi (Brasil), capirona de altura y guayabete (Colombia), capirona, y corusicao (Ecuador) y araguato (Venezuela). Su nombre comercial Internacional es Pau Mulato (CHICHIGNOUD et al., 1990).

Es una especie propia de las zonas tropicales húmedas, puede crecer en toda la Amazonía, formando manchales conocidos como “capirononales” (CUELLAR Y REYES, 2016). Es común verlas en bosques secundarios pioneros y tardíos, aunque también se les ha encontrado en bosques primarios, en suelos generalmente arcillosos o arenosos, aluvial, suelos fértiles, a veces temporalmente inundados (REYNEL et al., 2003).

En algunas zonas suelen ser muy agresivas en regeneración natural y podría ser una excelente alternativa para la promoción de plantaciones forestales en altitudes que van de 0 a 1.200 metros sobre el nivel del mar (CUELLAR Y REYES, 2016). Estudios realizados señalan que ha presentado ritmos de crecimiento aceptables en suelos de fertilidad relativamente bajos (SOTELO Y WEBER, 2001).

Presenta tronco de fuste recto, cilíndrico y copa globosa en el último tercio, la corteza externa es tersa y lustrosa de color marrón verdoso, que al desprenderse

expone al tronco blanco o grisáceo, por eso es conocido como “palo mulato”. Durante los meses de verano, produce abundantes flores blancas y aromáticas (MULATEIRO, 2018). Puede alcanzar hasta 35 m de altura y 0,6 a 1,20 m de diámetro (SIBILLE, 2006) (FIGURA 1).

FIGURA 1 - ÁRBOL DE *Calycophyllum spruceanum* a) COPA; b) TRONCO



FUENTE: a) IIAP (1997); b) AUTORA (2020)

Ugarte (2008) señala que *C. spruceanum* presenta un gran potencial para ser utilizada en plantaciones, tiene una densidad media-alta, buena durabilidad natural, gran aceptación en el mercado y amplia distribución en la Amazonía peruana. Sostiene que en plantaciones de cinco años pueden llegar a un crecimiento de hasta 12,7 cm de DAP con un aumento medio anual (IMADAP) de 2,4 cm; aproximadamente 13,4 m de altura total con un incremento medio anual en altura (IMAH) de 2,51 m; un área basal de 10,14 m² que equivalea a un crecimiento volumétrico de 81,6 m³. ha⁻¹. Asimismo, el autor destaca que en el Perú las plantaciones más productivas están localizadas en la parte más alta de la cuenca de Aguaytia, con mayor precipitación.

También por tratarse de una especie con alta densidad básica y grano fino, podría tener importantes beneficios en los diferentes usos que se le quiera dar en la industria, siendo el más conocido el parquet. Sin embargo, tiene múltiples cualidades para su uso final tanto maderable, como no maderable. (CUELLAR Y REYES, 2016).

2.2 PLANTACIONES FORESTALES DE *Calycophyllum spruceanum* Benth EN EL PERÚ.

El estado peruano, dentro de sus políticas públicas considera como meta instalar y mantener 2 millones de hectáreas de plantaciones forestales con fines comerciales e industriales para los próximos 20 años a nivel nacional. Algunas empresas privadas están apostando por iniciar un plan de reforestación a través de plantaciones forestales con fines industriales, entre las que se puede citar: (MINAGRI, 2015).

- Reforestadora Amazónica S.A - RAMSA. Es una empresa peruana fundada en el 2007, que cuenta con un área extensa bajo manejo de plantaciones forestales en zonas deforestadas de la Amazonía peruana y con una cadena productiva y comercial integrada, con certificación FSC (Forest Stewardship Council) otorgada por Rainforest Alliance. La empresa maneja más de 12000 hectáreas de plantaciones de inversionistas de terceros y propios, con tres zonas de operaciones: Puerto Inca (Huánuco), Iberia (Madre de Dios) y Puerto Bermúdez (Pasco), contando con más de 3500 ha reforestadas con especies de *Guazuma crinita*, *Tectona grandis*, *C. espruceanum* (REFORESTADORA AMAZÓNICA, 2015).

- Reforesta Perú S.A.C. Creada en el 2008, en la Ciudad de Tarapoto, Región San Martín, es una empresa privada que brinda servicios de plantaciones forestales con fines comerciales e industriales con responsabilidad social y ambiental. La empresa considera que las especies comerciales de mayor valor y mejor rentabilidad económica son: teca (*Tectona grandis*), eucalipto (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*), capirona (*Calycophyllum spruceanum*) y bolaina (*Guazuma crinita*). Señala que por su experiencia, calidad de sitios y climas en la Amazonía peruana y por el mejoramiento genético de los clones y sus modernas tecnologías, han conseguido

crecimientos de 24 y 45 m³/ha/año, de teca y eucalipto urograndis, respectivamente. En tierras fértiles han logrado crecimientos de 60 m³/ha/año (AGRO ENFOQUE, 2016).

- PLANTAR, Consorcio Agroforestal S.A.C. Fundada en el 2008, en la provincia de Puerto Inca ubicado en la Selva Central dentro del departamento de Huánuco. Es una empresa que desarrolla y controla todos los procesos operativos y técnicos silviculturales para el cultivo de árboles nativos con la finalidad de maximizar su crecimiento y mejorar la calidad de su madera. Mediante contrato de servicios con propietarios de tierras, establece plantaciones forestales o agroforestales hasta el tiempo de cosecha. Las especies con las que está trabajando son bolaina blanca (*Guazuma crinita*), capirona (*Calycophyllum spruceanum*), marupá (*Simarouba amara*) y cacao (*Theobroma cacao*) (PLANTAR, 2017).

2.3 PROPIEDADES DE LA MADERA

Cuando se quiere obtener un producto a partir de madera, que reúna las condiciones y requisitos de calidad, es necesario conocer sus propiedades anatómicas, físicas, mecánicas y químicas (LEON et al., 2001). Estas propiedades son muy importantes para dar el uso correcto a la madera en sus diferentes productos, entre ellos, los pisos de madera. Estos estudios se deben centrar en la elaboración de métodos que permitan, en base a las características y propiedades mencionadas, poder estimar con facilidad y confiabilidad, las condiciones de utilización y procesamiento adecuado de las especies forestales (REFORT Y KEIL, 2012).

2.3.1 Propiedades anatómicas

La anatomía estudia diversos tipos de células que componen el leño, su organización, sus funciones y características estructurales, ayudan en la identificación de las especies, conocer la madera, apuntando a su correcta utilización de acuerdo a sus características anatómicas, diferenciar el leño aparentemente idéntico, preveer y comprender su comportamiento estructural que permita la adecuación a las diversas aplicaciones (PANSWIN Y DE ZEEW, 1980).

Al respecto, León (2010) señala que si se conoce cómo influyen las características anatómicas sobre la masa específica se pueden hacer inferencias que den una idea aproximada del comportamiento de la madera.

Existe una correlación entre la masa específica de la madera y el porcentaje de la pared celular, para lo cual la anatomía de la madera es el mejor indicativo para conocer la calidad de esta (LEON Y ESPINOZA, 2001).

Para Ninin (1993) la masa específica es la expresión física de algunas características anatómicas. Pashin y De Zeeuw (1980) y Arroyo (1983) indican que la masa específica básica depende de tres factores: tamaño de las células, el espesor de sus paredes y la interacción entre el número de células de diferentes tipos, factores que corresponden a la estructura anatómica de la madera.

Considerando que la masa específica representan una medida de la cantidad total de material de la pared celular disponible por unidad de volumen, esto nos estaría indicando la relación que existe con las proporciones relativas, dimensiones y grosor de sus paredes de los diferentes tipos celulares. Sin embargo, para una misma masa específica se pueden presentar algunas diferencias a nivel celular que van a ocasionar cambios en las propiedades de la madera, por eso es importante conocer como las características anatómicas afectan o influyen sobre la masa específica (RATHGEBER et al., 2006). Los mismos autores señalan que las latifoliadas presentan mayor heterogeneidad respecto a tipo, proporción y distribución de tejidos xilemáticos, haciendo más complicado establecer relaciones entre anatomía y masa específica. En las coníferas, las características de las traqueidas, especialmente grosor de sus paredes y diámetro radial, definen los valores correspondientes a la masa específica y su respectiva variación. En las latifoliadas ó angiospermas, hay un mayor número de tipos celulares, como las fibras, los vasos, parénquima axial y parénquima radial. Adicionalmente, la distribución de cada uno de los tejidos leñosos puede influir sobre la homogeneidad o heterogeneidad de los valores de masa específica. Al respecto, Zhang y Zhong, citados por León y Espinoza (2001) señalaron que el peso específico puede servir como un estimador confiable en la resistencia mecánica de maderas coníferas debido a su estructura bastante homogénea. Sin embargo, para maderas latifoliadas, que presentan una estructura muy heterogénea, la masa específica no

proporciona el mismo nivel de confiabilidad, por las diferencias estructurales entre maderas que poseen un mismo peso.

Fujiwara (1992) en un estudio de 50 especies latifoliadas del Japón, encontró que los parámetros más correlacionados con la masa específica básica son el espesor de las paredes de las fibras, el porcentaje del espesor de las fibras y el volumen de los radios, ejerciendo mayor efecto el porcentaje de espesor de las fibras.

Herrera (1987) encontró para el tornillo una correlación de 0,627 entre la longitud de fibra y la masa específica, atribuyendo que gran parte del comportamiento de la masa específica se debe a las características anatómicas.

León y Espinoza (2001) compararon las propiedades de resistencia mecánica de maderas de igual masa específica y encontraron que características como la proporción de tejido parenquimatoso, presencia de conductos gomíferos longitudinales y floema, pueden ejercer efecto negativo sobre las propiedades de resistencia de la madera, y que la característica anatómica de mayor influencia en las propiedades de resistencia mecánica de la madera es el grosor de las paredes de las fibras, observándose que aquellas maderas con fibras de paredes gruesas presentan propiedades de resistencia mayor, que aquellas con fibras delgadas. Sin embargo, las propiedades de resistencia no son reflejo de una sola característica anatómica, sino el resultado de una interacción de las diferentes características estructurales como, por ejemplo, alta proporción de poros o de parénquima axial, radios de gran tamaño, entre otros. Por otro lado, señalan que la longitud de las fibras ejerce un papel preponderante cuando se aplican esfuerzos en dirección paralela al grado.

El mismo autor señala que la compresión paralela a las fibras, la resistencia a la tensión y la dureza de los extremos, son propiedades que se encuentran altamente correlacionadas con la longitud de las fibras. Al respecto, Leclercq (1980) señala que esta característica ejerce un efecto importante sobre la resistencia a la flexión estática, resistencia al impacto en flexión y compresión paralela a las fibras.

Arroyo (1983) sostiene que la resistencia a la tensión está directamente relacionada con la morfología de los elementos fibrosos, longitud de las células, diámetro, espesor de las paredes celulares y ángulo de las fibrillas, así como la relación celulosa-lignina.

León y Espinoza (2001) agregan que la proporción y distribución del parénquima axial también juegan un papel importante en las propiedades de resistencia mecánica. Las maderas que presentan mayor cantidad de tejido parenquimático presentan menores valores en las diferentes propiedades de resistencia mecánica.

Silva et al. (2005) estudió las relaciones entre las características anatómicas y propiedades físicas en la madera de *Cedrelinga cateniformis*, procedente de las plantaciones de Jenaro Herrero-Perú, considerando los efectos de la edad y niveles de corte. Los resultados demostraron que el 55,2% del comportamiento de las propiedades físicas pueden ser atribuidas a los elementos xilemáticos, demostrando cuantitativamente que la estructura de la madera está asociada con las propiedades físicas.

2.3.1.1 Excentricidad de la médula

La excentricidad de la médula (EM) indica el distanciamiento de la médula con relación al centro geométrico de la troza durante el crecimiento del árbol y es usado como referencia para evaluar el efecto resultante de las tensiones de crecimiento en el árbol (FLÓREZ et al., 2014).

Diversos estudios han señalado la importancia que tiene conocer la excentricidad de la médula como indicativo de calidad de la troza. La aparición de médula excéntrica está estrechamente relacionada con la formación de madera de reacción en los árboles (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968). Esta es una desviación que genera anillos de crecimiento irregulares, las células deben responder a las fuerzas que se crean en el interior del árbol y esa falta de simetría crea la excentricidad. Por otro lado, los troncos con Excentricidad de médula son más propensos a deformarse y formar grietas circulares entre los anillos de crecimiento, por lo que van requerir un posicionamiento adecuado de los troncos en la sierra (GROSSER, 1980). Para Costa (2001) la Excentricidad de la médula produce una forma elíptica en el tallo, dando como resultado tablas con una estructura anatómica desigual, con resultados inesperados en el proceso industrial. Según investigaciones realizadas al respecto, las

causas de excentricidad de la médula se deben a la acción del viento, pendiente del terreno, ramas que se tuercen y la fuerza excesiva del sol. También están asociadas a factores genéticos, edad, dimensión del tronco, tasa de crecimiento e inclinación del fuste (LIMA et al., 2007). En general se dice que los efectos principales de la excentricidad de la médula, es la baja productividad en el aserradero y trozas de madera con tendencia a curvarse.

2.3.2 Propiedades físicas

El conocimiento de las propiedades físicas básicas tales como contenido de humedad, masa específica, peso específico y cambios dimensionales, facilita el procesamiento, utilización óptima, comparación y selección entre diferentes maderas para un producto específico (MUÑOZ; MORENO, 2013)

Coronel (1994) señala que las propiedades físicas de la madera son las que determinan el comportamiento ante los factores que intervienen el medio ambiente natural sin que éste actúe química ni mecánicamente en su estructura interna.

2.3.2.1 Masa específica

La masa específica llamada también densidad básica, es un parámetro de mucha importancia por ser el principal índice que sirve para determinar la calidad de la madera, ya que se relaciona con varias características y propiedades que se requieren para utilizar el material en una aplicación determinada (TSOUMIS, 1991).

En general, las características de resistencia de la madera, en gran parte dependen de la masa específica y es un dato útil como referencia de su calidad, pudiendo emplearse también como elemento de juicio en la selección o clasificación de la misma (KOLLMANN, 1959).

La masa específica puede entenderse como el índice de compacidad de las fibras de madera, presentando mayor o menor cantidad de fibras por unidad de volumen, sin embargo, hay que tener en cuenta que esta propiedad también se ve muy afectada por la humedad y por la posición de la madera (MARTINS, 2010).

Diversos estudios señalan que maderas con alta masa específica muestran mayor variación volumétrica por presentar mayor cantidad de agua de impregnación en la pared celular por unidad de volumen, ocasionando una acentuada contracción durante el proceso de secado por debajo del punto de saturación de las fibras (GLASS; SELINKA, 2010). Sin embargo, maderas con alta masa específica presentan una mayor resistencia mecánica y dureza, características muy importantes que son recomendadas en la fabricación de pisos macizos (PADILHA et al., 2006; ROCHA et al., 2014; BLANCO et al., 2015)

Por otro lado, Aróstegui et al. (1980) señalan que la masa específica básica tiene gran influencia en las propiedades mecánicas, clasificando a las maderas tropicales según su masa específica en cinco grupos: muy bajas (I - masa específica básica $< 0,30 \text{ g.cm}^{-3}$); baja (II - masa específica básica de $0,31$ a $0,40 \text{ g.cm}^{-3}$); media (III - masa específica básica de $0,41$ a $0,60 \text{ g.cm}^{-3}$); alta (IV - masa específica básica de $0,61$ a $0,80 \text{ g.cm}^{-3}$) y muy alta (V - masa específica básica $> 0,8 \text{ g.cm}^{-3}$).

En las diferentes investigaciones realizadas a la *C. spruceanum* se han reportado valores de masa específica que varían entre $0,58 \text{ g.cm}^{-3}$ a $0,76 \text{ g.cm}^{-3}$, de acuerdo al lugar, edad, altitud, procedencia, variabilidad dentro y entre la especie.

Al respecto, Araújo et al. (2016) en un estudio de las propiedades físicas de la *C. Spruceanum* proveniente de una plantación en la floresta de várzea del estuário amazônico con diámetros entre 18 y 55 cm, mostró un promedio general (base y copa) de $0,65 \text{ g.cm}^{-3}$ para la masa específica básica, que al compararla con especies utilizadas comercialmente, como *Brosimum parinarioides*, *Parkia paraensis*, *Carapa guianensis*, *Goupia glabra* y *Vochysia spp.*, con $0,59$, $0,56$, $0,59$, $0,68$ y $0,65 \text{ g.cm}^{-3}$ de masa específica, respectivamente, se verificó que la *C. spruceanum* presenta potencial de uso en carpintería, muebles y construcción en general.

Sotelo et al. (2006) estudiando madera de *C. spruceanum* de 30 meses en plantaciones de la Amazonía Peruana, encontraron que existe una correlación genética positiva entre el crecimiento y la masa específica, ofreciendo la oportunidad para esta especie, de seleccionar árboles de crecimiento más rápido con maderas más densas, siendo efectivo en zonas donde los árboles crecen relativamente rápido con

suelos fértiles y lluviosos. La masa específica reportada fue de $0,58 \text{ g.cm}^{-3}$, según Aróstegui et al. (1980), IAWA (1989) corresponde a una masa específica media.

Díaz (2008) al evaluar la variabilidad de las propiedades físicas de una plantación de 8 años de la madera de *C. spruceanum* en la zona de Tingo Maria-Perú, encontró que presenta una masa básica de $0,64 \text{ g.cm}^{-3}$ clasificada como alta (ARÓSTEGUI et al., 1980; IAWA, 1989; El autor en esta investigación concluye no haber encontrado diferencias significativas con la altura del árbol, sí con la orientación, siendo la orientación sur la que presentó un mayor valor.

Pantigoso (2009) al evaluar las propiedades físicas y mecánicas según niveles de corte de la *C. spruceanum* proveniente de plantaciones y cosechada a los 9 años, encontró que la masa específica básica, presenta diferencias significativas entre niveles con valores superiores en la base, debido a la necesidad del árbol para soportar los esfuerzos producto de factores externos como el viento, produciendo madera mas densa que le sirve como soporte desde la base. El valor promedio reportado fue de $0,61 \text{ g.cm}^{-3}$ clasificada como alta y como un buen estimador para predecir la dureza y el esfuerzo en compresión perpendicular.

2.3.2.2 Contenido de humedad

La madera por ser un material higroscópico, en condiciones normales de uso, tienen una cantidad de agua en sus paredes que lo conforman, la variación de esta tiene grandes implicaciones en las demás propiedades, como su resistencia mecánica, su aptitud para el maquinado, desenrollo, el cepillado, el encolado, su aptitud para recibir acabados y adhesivos, el poder calórico que puede generar, su resistencia al ataque de hongos, su aptitud para la impregnación, en la masa y sobre todo, en los cambios dimensionales que sufre la madera a consecuencia de la variación de su contenido de humedad (KOLLMAN, 1959).

El contenido de humedad puede causar alteraciones en sus dimensiones en proporciones diferentes en las tres direcciones de la madera y que caracteriza a un material anisotrópico, su control es indispensable para su uso adecuado y minimizar

el desarrollo de defectos observados en artículos confeccionados antes que la madera obtenga el equilibrio higroscópico (MORESCHI, 2014).

Así mismo, el control de contenido de humedad de la madera es indispensable para su utilización en forma adecuada, minimizando el desarrollo de defectos como pandeo, arqueamiento, torceduras, etc. Estos defectos, son comúnmente observados en artículos de madera confeccionados, antes que entre en equilibrio higroscópico con las variables ambientales (temperatura y humedad relativa), en los cuales serán mantenidos en uso).

Todas las propiedades físicas de la madera, mecánica y no mecánicas, son grandemente afectadas por las fluctuaciones en el contenido de humedad. Para utilizarla en forma adecuada es imprescindible conocer su contenido de humedad, entender su localización y el movimiento del agua a través de ella (PANSCHIN; DE ZEEUW, 1980)

2.3.2.3 Variación dimensional

La variación dimensional provocada por la contracción e hinchamiento de la madera, constituye conjuntamente con la anisotropía, características indeseables de la madera, que pueden limitar su uso en los diferentes productos, exigiendo para ello técnicas específicas de procesamiento. El índice más importante para evaluar la estabilidad dimensional de la madera es el factor anisotrópico, definido por la relación entre la contracción tangencial y radial (T/R), cuando mayor sea, mayor la magnitud del problema. (DURLO; MARCHIORI, 1992).

La mayor alteración dimensional de la madera se manifiesta en sentido tangencial a los anillos de crecimiento, seguida por la dimensión radial y prácticamente despreciable en sentido longitudinal (PANSCHIN; DE ZEEUX, 1980).

Aróstegui et al. (1980) señalan que estos cambios dimensionales se deben a la variación del contenido de humedad en la madera por debajo del punto de saturación de las fibras, por la pérdida de agua absorbida entre la estructura celulósica de la pared celular. La magnitud de estos cambios debido al agua absorbida presente en las paredes en las direcciones tangencial y radial, caracteriza el comportamiento de una

madera frente a los cambios de humedad y secado. Los diferentes comportamientos de la madera según las direcciones mencionadas, se asocian a defectos como deformaciones y grietas.

Los valores del índice o coeficiente de anisotropía comprendidos entre 1,2 y 1,5 pueden considerarse excelentes; 1, 6 y 1,9 se consideran valores normales y mayores a 2,0 originan dificultades en el uso de la madera, es considerada como mala o baja calidad (DURLO; MARCHIORI, 1992; CORONEL, 1994). Sin embargo, se debe considerar que la madera con bajos coeficientes de anisotropía de contracción pero con contracciones tangenciales y radiales altas, provocan inestabilidad dimensional de la madera (ROCHA, 2000).

2.3.3 Propiedades mecánicas

Se definen como la expresión de su comportamiento bajo la aplicación de fuerzas o cargas, que expresadas por unidad de área o volumen es un esfuerzo. Presentan tres tipos de esfuerzos primarios que pueden actuar sobre un cuerpo, y estos son, de compresión, tracción y cizallamiento. Asimismo, existe la combinación de estos tres esfuerzos, dando lugar el efecto de flexión o pandeo (ARROYO, 1983)

De acuerdo con Kollmann y Cotê, (1968) las propiedades que determinan la resistencia de la madera, son la resistencia a la flexión o llamada módulo de ruptura, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, cizallamiento, dureza, etc. Las propiedades que determinan la elasticidad de la madera, son el módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson, plasticidad y resiliencia.

Las propiedades mecánicas de la madera son una expresión de su comportamiento bajo fuerzas aplicadas. Este comportamiento se modifica de varias maneras, dependiendo de los tipos de fuerza ejercida sobre la madera y las diferencias básicas en la organización estructural de la madera (PANSHING; DE ZEEUW, 1980). Conocer la resistencia de las maderas bajo diferentes demandas, va a permitir su uso adecuado a fin de tener maderas de calidad y con mayor valor agregado

Estas propiedades son de gran importancia para el uso de la madera como material de construcción, principalmente en atención a las exigencias relativas a los esfuerzos en el uso estructural (LIMA et al., 1983).

Pinto (2007) señala que el módulo de ruptura (MOR) y el módulo de elasticidad (MOE), son dos parámetros de gran importancia en la caracterización tecnológica de la madera, proveyendo una buena aproximación de resistencia real al material. También afirman que, por ser un material anisotrópico, la madera posee propiedades mecánicas independientes en dirección de sus ejes ortogonales. De esta manera, sus propiedades se diferencian con la dirección de la carga en relación a sus tres ejes.

Conforme Kollmann y Cotê (1968) el módulo de elasticidad calculado es apenas un valor teórico, utilizado para facilitar los cálculos y como indicador de calidad para la clasificación de piezas de madera. No ofrece información real sobre el comportamiento de la madera. En general se puede decir que cuanto más alto es el MOE, más alta es la resistencia de la madera, más baja será su deformación. Cuanto más bajo es el MOE, la calidad de madera baja para fines de construcción civil.

Los valores de flexión estática tienen aplicación si la madera se va usar de manera estructural, sobre todo para vigas (FUENTES, 1998). Asimismo, Echenique y Plumptre (1994) señalan límites de propiedades de elementos estructurales para techos, muros y pisos de: MOR de 400 a 1350 kg.cm⁻², MOE de 71000 a 150000 kg.cm⁻². Por otro lado, el esfuerzo de compresión perpendicular a la fibra tiene aplicación si la madera va a ser utilizada como soporte, donde está sujeta a cargas externas que tiendan a compactarla, como es el caso de durmientes. Sin embargo, si la madera se va usar para columnas o como soporte donde las cargas estén en dirección paralela a la fibra, es importante que tenga buena resistencia a la compresión paralela a las fibras (FUENTES, 1998).

Calori et al. (1997), señalan que la dureza es una característica que puede constituirse en un factor limitante para el empleo de la madera en muebles y construcción, ya que es un indicativo importante de su trabajabilidad y comportamiento al ser usada en pisos, parquet, etc. Estos investigadores encontraron que para *Eucalyptus dunni* de 20 años, la dureza se correlaciona positivamente con la densidad básica de la madera.

Diversos métodos son adoptados para la determinación de la dureza de materiales, como la dureza Janka, dureza Brinell y Chalis/Mendon, (KOLLMANN; COTÊ, 1968). La dureza Janka, es una propiedad muy importante si se va utilizar la madera para elaboración de pisos, cubiertas de mesa, plataformas y superficies con resistencia al desgaste mecánico. (FUENTES,1998).

Por otro lado, la resistencia, es una aptitud de la madera a resistir tensiones, determinada por la máxima tensión que puede ser aplicada a probetas de prueba exentas de defectos y que está muy relacionada con las especies. Para lo cual, la NBR 7190 (ABNT, 1997) establece algunas clases de resistencia de la madera como compresión paralela a las fibras característico (F_{C0k} MPA) y resistencia al cizallamiento característico (F_{VK} MPA), cuyo objetivo es emplear maderas con propiedades estandarizadas, orientadas a escoger la materia prima mas idónea para la elaboración de productos destinados a proyectos estructurales. La TABLA 1 define las condiciones mínimas de resistencia a la rigidez y cizallamiento que deben presentar las dicotiledóneas para ser consideradas como maderas de calidad en la construcción de estructuras de madera.

TABLA 1 - CLASES DE RESISTENCIA Y RIGIDEZ PARA MADERAS DE DICOTILEDÒNEAS A 12% DE HUMEDAD

CLASES	F_{C0k} (MPa)	F_{VK} (MPa)	$E_{C0, m}$ (MPa)	$\rho_{bas, m}$ (g.cm ⁻³)
C20	20,00	4,00	9.500,00	0,650
C30	30,00	5,00	14.500,00	0,800
C40	40,00	6,00	19.500,00	0,950
C50	50,00	7,00	22.000,00	0,970
C60	60,00	8,00	24.500,00	0,100

FUENTE: NBR 7190 (ABNT,1997)

Nota: F_{C0k} = resistencia obtenida en el ensayo de compresión paralela a las fibras característico; F_{VK} = resistencia al cizallamiento característico; $E_{C0, m}$ = módulo de elasticidad medio; $\rho_{bas, m}$ = masa específica básica media.

2.3.4 Propiedades químicas

La estructura de la madera se puede comprender como una organización de células y composición química de las sustancias presentes en la pared celular, con productos bioquímicos almacenados en el cuerpo de las plantas (MOREY, 1980). Conocer la proporción de estos componentes y características químicas, contribuye también para explicar sus propiedades físicas y mecánicas y entender el comportamiento de esta como materia prima en sus diferentes usos (BERTUOLI et al., 2006).

La madera está formada por tres elementos principales, dentro de la pared primaria y secundaria de la pared celular: celulosa, hemicelulosas y lignina, de alto peso molecular, llamados componentes fundamentales, donde los dos primeros son polisacáridos y el último un polímero aromático (MOREY, 1980). Bárcenas y Dávalos (1999), señalan que la lignina desempeña un papel determinante en el comportamiento de la madera ante los cambios dimensionales debido a las variaciones en contenido de humedad. Schroeder (1972), citado por Bárcenas y Dávalos (1999) encontró en las angiospermas una contracción de 20% más que las gimnospermas y los atribuyó a la lignina, siendo que las angiospermas presentaron un 20% menos de lignina.

Bárcenas y Dávalos (1999) señalan que el contenido de lignina con la densidad relativa y el volumen de radios en la madera, parece explicar el mayor porcentaje de contracción. El mismo autor señala que el contenido de lignina desempeña un papel determinante en el comportamiento de la madera ante los cambios dimensionales por variaciones en el contenido de humedad. Así mismo el contenido de lignina y el volumen de radios en la madera, parecería explicar el mayor porcentaje de contracción. En general sostiene que las especies dimensionalmente mas estables son las coníferas con mayor contenido de lignina, luego las angiospermas tropicales.

Los extractos de la madera son componentes orgánicos, extracelulares, que juegan un rol relevante en la composición de la madera y generalmente representan menos del 10% de ella (BATISTA, 2012). La composición y cantidad relativa de los extractivos depende de diversos factores como especie, edad y región de procedencia. En maderas duras de regiones templadas su rango varía de 2 a 4%, pudiendo llegar a valores superiores a 10% en regiones tropicales (LAMOUNIER, 2010). Aunque, en

general, el contenido de extractivos de una madera no influye de una forma significativa en sus resistencias mecánicas, si lo hace con la densidad (STANLEY, 1969). La presencia de extractivos no afecta a la resistencia a la compresión paralela a la fibra, pero sí contribuye a un aumento considerable de la dureza de la madera (GUTIÉRREZ; BAONZA, 2001).

El contenido de cenizas se encuentra entre 0,2% y 0,5% y representan una medida aproximada de sus sales minerales y otros contenidos de materias inorgánicas que tiene la madera (SHEBANI et al., 2008; POLETTTO et al., 2012). Estos componentes inorgánicos formados por sílice, Na, Ca, K, se encuentran en las cenizas, cuyas proporciones varían notablemente entre las especies (BATISTA, 2012).

Estos materiales no estructurales presentes en la madera hacen variar el color, olor, densidad, estabilidad dimensional, durabilidad, higroscopicidad e inflamabilidad de la madera, además de ejercer resistencia al ataque de hongos e insectos (STANLEY, 1969; SILVA, 2012; LAMOUNIER, 2010; SORATTO, 2012).

2.4 PISOS DE MADERA

Se define como piso de madera al ensamblaje de elementos individuales de madera colocados sobre la estructura primaria o el falso piso (NTP 251.150, 2004).

Los pisos de madera han pasado de estar constituidos por tablas de distintas anchuras y longitudes con sus cantos más o menos rectos y clavados sobre un entarimado de madera, a suelos formados por tablas o tablillas perfectamente calibradas en sus tres dimensiones, formando determinadas figuras geométricas y colocadas sobre un soporte de cemento, enrastrelado o soporte flotante (VIGNOTE et al., 2006).

Los pisos de madera son muy apreciados por su calidez, tienen mucha aceptación dentro del gusto de los compradores, son protagonistas incuestionables en obras y construcción, aun en los países desarrollados donde la protección a los recursos naturales es severa, gozan de gran aceptación y confianza. Sin embargo, las maderas para ser usadas como recubrimiento del suelo deben contar con óptimas

características técnicas y organolépticas, dentro de las técnicas se tiene, la masa específica, dureza y estabilidad (Mendez, 2008).

El mismo autor señala que la masa específica, ideal de las maderas para este fin parten del rango de $0,600 \text{ g.cm}^{-3}$, aunque la mayoría de las especies se encuentran sobre los $0,700 \text{ g. cm}^{-3}$ y $0,750 \text{ g. cm}^{-3}$, algunas pasan los $1,000 \text{ g.cm}^{-3}$, otras como el Pino, aunque no están dentro de estos rangos se nivelan a través de procesos de consolidación. Al respecto, Andrade (2017) señala que para analizar la viabilidad técnica de especies con menor masa específica y dureza destinadas para pisos, es necesario investigar técnicas científicas que aumenten la resistencia de la madera.

Una alta resistencia a la dureza asegura la perdurabilidad de la madera, que es fundamental, por la constante presión, tráfico y fatiga que están sometidas. Se requiere también maderas con comportamiento estable, es decir que la tendencia a sufrir variaciones o movimientos en su estructura sea mínima. Maderas con demasiados nudos o fibras encontradas, las hace inseguras aun frente a los cambios atmosféricos más leves, son difíciles de mecanizar generando problemas en el proceso de producción. La madera usada debe presentar un mínimo de movilidad pues es la uniformidad en la superficie la que resume la calidad del piso. (MENDEZ, 2008).

Andrade (2015), también señala que es muy importante enfatizar que no todas las especies seleccionadas, deben presentar excelentes características para ser utilizadas como pisos de madera. Un ejemplo es el bosque Cupiúba y *Angelim-Vermelho* que presentan olor desagradable cuando está mojado y su uso en ambientes internos puede ser inapropiado.

Respecto a las preferencias, en una encuesta realizada en Lima–Perú, arrojó que el 65,5% de los usuarios, están dispuestos a usar pisos de madera o renovar el que tienen, por su calidez, ser antialérgico y acogedor, aspecto cálido y elegante. Asimismo, un 55%, prefieren pisos oscuros por su elegancia y menos perceptibles a las manchas. Otros se inclinan por los colores claros por la percepción de amplitud, la iluminación que da al área y algunos por moda, con la ventaja de un menor costo respecto a los pisos de tonalidad oscura (BURGA et al, 2010).

En la TABLA 2, se presentan 30 especies aptas para la fabricación de pisos de madera peruanas, en base a la evaluación de sus propiedades físico-mecánicas y características anatómicas (CHAVESTA, 2005).

TABLA 2 - ESPECIES Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS PRINCIPALES MADERAS PERUANAS UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE PARQUET

N°	Nombre común y científico	MEB (g.cm ⁻³)	CA (cc T/R)
1	Aguano masha (<i>Machaerium inundatum</i>)	0,74	1,6
2	Ana caspi (<i>Apuleia leiocarpa</i>)	0,83	1,9
3	Azúcar huayo (<i>Hymenaea oblongifolia</i>)	0,80	1,8
4	Bálsamo del Perú (<i>Myroxylon balsamun</i>)	0,78	1,4
5	Cachimbo (<i>Cariniana doméstica</i>)	0,59	1,5
6	Capirona (<i>Calycophyllum spruceanum</i>)	0,76	1,8
7	Chonta (<i>Iriarteia deltoidea</i>)	1,01	1,0
8	Chontaquiro (<i>Diplatropis martiusii</i>)	0,74	1,5
9	Estoraque (<i>Myroxylon peruiferum</i>)	0,78	1,6
10	Guayacán (<i>Tabebuia chrysantha</i>)	0,83	1,1
11	Hualtaco (<i>Loxopterygium huasango</i>)	0,68	2,3
12	Hualtaco de selva (<i>Tetragastris sp</i>)	nd	nd
13	Huayruro (<i>Ormosia coccinea</i>)	0,61	2,0
14	Itahuaba (<i>Mexilaurus itauba</i>)	0,68	2,9
15	Machimango (<i>Eschweilera parvifolia</i>)	0,75	1,5
16	Manchinga (<i>Brosimum alicastrum</i>)	0,68	1,6
17	Mari mari (<i>Vatairea guianensis</i>)	0,67	2,2
18	Oreja de león (<i>Tabebuia billbergii</i>)	nd	nd
19	Palisangre negro (<i>Pterocarpus sp</i>)	0,73	1,8
20	Palisangre palo peruano (<i>Brosimum rubescens</i>)	0,99	1,4
21	Pisho (<i>Mauria denticulata</i>)	nd	nd
22	Pucaquiro (<i>Simira williamsii</i>)	0,73	1,9
23	Pumaquiro (<i>Aspidosperma macrocarpon</i>)	0,67	2,0
24	Quillobordón (<i>Aspidosperma parvifolium</i>)	0,60	1,6
25	Quina quina (<i>Pouteria sp</i>)	0,74	2,0
26	Quinilla colorada (<i>Manilkara bidentata</i>)	0,87	1,6
27	Shaina (<i>Colubrina glandulosa</i>)	0,74	2,0
28	Shihuhuaco (<i>Dipteryx odorata</i>)	0,87	1,7
29	Tahuari (<i>Tabebuia serratifolia</i>)	0,92	1,6
30	Yacushapana (<i>Terminalia oblonga</i>)	0,73	1,7

MB: Masa Específica Básica, CA: Coeficiente anisotrópico (Contracción tangencial/contracción radial)

FUENTE: Chavesta (2005)

2.4.1 Tipo de pisos de madera

Los principales pisos disponibles según NBR 15798 (ABNT, 2010) son: pisos - piezas con encaje macho y hembra en dos o cuatro lados; parquet mosaico - placa formada por varias piezas pequeñas de madera, pudiendo ser instaladas en diferentes direcciones, formando también dibujos tipo mosaicos; taco - piezas de dimensiones fijas y generalmente múltiplos respecto a su longitud en relación con su ancho.

La NTP 251.150 2004 los clasifica como: tablilla de parquet - elemento de revestimiento de suelo estrecho y generalmente corto; tabla de revestimiento de piso - elemento alargado de madera maciza, de lados paralelos, elaborado con un grosor regular, perfil(es) constante(s) con cantos y cabezas machihembradas o no, que puede ensamblarse con otros elementos análogos (aplicable a listoncillo, listón, parquetón y machihembrado clavado/clavado-pegado); tabla pre ensamblada de revestimiento de piso - compuesta por elementos individuales encolados por sus cantos y/o ensamblados de cabeza (definición de machihembrado flotante); elemento de parquet multicapa - elemento de constitución laminada consistente en una capa superior de madera maciza y de capa(s) complementaria(s) de madera ó materiales derivados, encoladas entre sí (definición de pisos laminados); panel de parquet - unidad de colocación pre ensamblada compuesta de elementos de parquet (definición de parquet mosaico).

2.4.2 Ensayo de simulación de pisos de madera en servicio

La NBR 15798: 2010 (ABNT, 2010) define los parámetros de estandarización indispensables para la buena calidad del producto. Las especificaciones generales de la norma establecen que todas las partes, independientemente de la clase de calidad, deben ser igualmente resistentes y aplicables. Estos pueden tener un gran grano y variar en color y tonos característicos dependiendo de la especie utilizada.

Para la simulación de pisos en servicio, La norma D2394-05 (ASTM, 2008) propone métodos estandarizados para simulación de piso de madera en servicio cuyo objetivo es proporcionar tanto medios fácticos como comparativos para evaluar la idoneidad de los suelos de acabado, cuyos procedimientos desarrollados simulan

algunas condiciones de uso. Contempla los ensayos de cargas concentradas en pequeñas áreas, de carga rodante, de la caída de esfera de acero, de abrasión y la determinación de los coeficientes de rozamiento estático y dinámico de las superficies de los pisos.

Según Martins (2008) para que las maderas sean una buena opción para el mercado de pisos, adicionalmente es necesario la realización de ensayos que simulen sus reales condiciones en servicio. Estos ensayos simulan el pisoteo ejecutado por los zapatos altos con pequeñas áreas de presión o arraste y una caída de objetos, resistencia a la abrasión de su superficie que es una fricción ocurrida durante el desplazamiento de las personas que caminan sobre él. La gran dificultad en la selección de nuevas maderas para pisos está en la ausencia de valores referenciales físico-mecánicos.

Anderson, 1970, citado por González (2006) señala que entre las propiedades más importantes de la madera para pisos destacan: la dureza, la flexibilidad y la resiliencia. La dureza es una propiedad que se encuentra relacionada con la resistencia de la madera a ser rayada o rasgada mediante objetos punzo cortantes. La flexibilidad es la capacidad de la madera de deformarse temporalmente cuando se le aplica una carga muy alta, como por ejemplo cuando tiene que soportar un pesado armario o un piano, pero sin sufrir una deformación permanente ni quebrarse y la resiliencia es una propiedad que mide la capacidad de la madera de recuperar sus dimensiones originales, después que se le aplica una carga de impacto, como por ejemplo cuando sobre un piso, cae un objeto pesado que podría provocar una abolladura en sus estructuras.

Al respecto, Galina et al. (2013) señala que, para la selección de una especie adecuada para la fabricación de pisos, se debe considerar principalmente las propiedades físico-mecánicas como masa específica, dureza janka y contracción, adicionalmente los aspectos estéticos y tendencias de moda. Al respecto, Padilha (2005), Lima (1999) señalan a la masa específica como parámetro de calidad de amplia aceptación debido a sus correlaciones con las demás propiedades de uso final de la madera.

La calidad de madera para pisos está principalmente relacionada por sus características físicas y mecánicas, porque afectan directamente su estabilidad dimensional y su resistencia mecánica en relación con su uso (MARTINS, 2008). Las dificultades en el uso de la madera en proceso de fabricación de pisos están basadas al conocimiento de cómo trabajar correctamente ese material. Es preciso conocer su estructura y sus parámetros de mecanizado para entender las proporciones que dan buenos resultados en calidad (MARCHESAN et al, 2013).

La resistencia ante el impacto de la caída de la bola de acero sobre el piso está directamente relacionada con la masa específica y dureza de las especies. La densidad y dureza del material son los principales indicadores de desempeño del tipo de madera (FLÓREZ et al, 2015).

La abrasión es el resultado del desgaste superficial de un piso determinado por su capacidad para resistir fricciones mecánicas como roces, raspaduras o erosión causadas por objetos o personas que se mueven sobre su superficie (BARBOSA et al., 2014). Los autores señalan, además, que la resistencia a la abrasión es uno de los factores más importantes para determinar el rendimiento de la vida útil de los pisos.

Los resultados obtenidos en el ensayo de abrasividad de las especies no siempre están relacionados con la masa específica (BERNDSEN et al. 2014). Al respecto, Silva (2019) no encontró correlación significativa entre la densidad básica de la madera y los ensayos de abrasividad, Moreschi (2014) señala que el fenómeno de la abrasión es tan complejo y tan diferente que no existe prueba estandarizada para este propósito, solo es posible simular situaciones de madera en servicio a efectos comparativos.

Los pisos de madera, superficies destinadas a recibir tránsito de personas, necesitan tener coeficientes de fricción que proporcionen una superficie no resbaladiza y que posibiliten un tránsito seguro. Por eso, conocer estos coeficientes son determinantes para el uso que se dé a la madera (MARTINS, 2008).

Nascimento et al. (2016) en un estudio sobre la resistencia a la abrasión para 1300 y 1600 ciclos en tableros de partícula en forma de pisos sin recubrimiento y con recubrimiento (barniz poliéster), encontraron que en ambos tratamientos no hubo diferencia significativa.

El ensayo de fricción simula la fricción que ocurre entre el piso de madera y la suela del zapato desde el momento de salida de reposo como para el desplazamiento uniforme. Los coeficientes de fricción pueden ser utilizados como indicadores de calidad para la confección de pisos; materiales genéticos con los mayores coeficientes de fricción poseen mejor desempeño, sus maderas son más seguras y confortables al caminar (PADILHA, 2005).

Silva (2019) señala que los coeficientes de rozamiento son determinantes en la selección de especies de madera para la fabricación de pisos, en función de la utilización y del tráfico del local donde será instalado, siendo importante que no proporcionen una superficie resbaladiza, valores de coeficientes de rozamientos altos corresponden a superficies menos resbaladizas

Oliveira et al. (2019) establecieron clases de calidad para pisos de diferentes maderas, en función de las depresiones analizadas con respecto a la simulación de pisos en uso, indicando las maderas adecuadas para ser instaladas en un determinado lugar, en entornos con alto tráfico, con arrastre o con los objetos que caen, en las industrias. En la TABLA 3 se muestra las calificaciones de calidad para el ensayo de carga rodante, fricción estática y dinámica, carga aplicada a pequeñas y hendidura de la bola que cae.

TABLA 3 - PRUEBAS ÍNDICES PARA DETERMINAR LAS CLASES DE CALIDAD DE PISOS DE MADERA

Test	Clases de calidades del piso		
	Alto	Intermedio	Bajo
Fricción estática y dinámica	Mas grande que 0,181	De 0,161 a 0,181	Menor que 0,181
Carga aplicada (mm)	Menor que 0,005	De 0,006 a 0,030	Mas grande que 0,031
Carga rodante (mm)	Menor que 0,120	De 0,121 a 0,300	Mas grande que 0,301
Bola que cae (mm)	Menor que 0,180	De 0,1281 a 0,300	Mas grande que 0,301

FUENTE: Oliveira et al. (2019)

Algunas especies provenientes de plantaciones y rodales naturales, relacionados a investigación sobre la calidad de la madera para pisos, mediante la simulación de pisos en servicio se presentan a continuación:

Martins et al. (2013) caracterizaron las maderas de *Eucalyptus clóeziana* de 22 años, *Eucalyptus microcorys* de 32 años y *Corymbia maculata* de 32 años, se determinó en el ensayo de carga rodante (50 viajes), depresiones promedio de 0,190 mm 0,154 mm y 0,128 mm respectivamente, en el ensayo de caída de esfera, depresiones promedio de 0,265 mm, 0,213 mm y 0,206 mm respectivamente; y en el ensayo de resistencia a la abrasión depresiones promedio de 0,055 mm 0,073 mm y 0,076 mm, respectivamente; de acuerdo con los resultados obtenidos, recomendaron a las tres especies para la fabricación de pisos de madera.

Santos et al. (2010) evaluaron la madera de clones de *Eucalyptus camaldulensis* de 11 años y *Eucalyptus urophylla* de 10 años, proveniente de plantaciones del municipio de Paraopeba, con miras a la producción de pisos a partir de troncos de pequeño diámetro con espesores de 8 mm y 14 mm. Determinó para pisos de 8 mm de espesor: carga rodante (50 viajes) de 0,358 mm y 0,471 mm; caída de la esfera de 0,277 y 0,375 mm; cargas concentradas en pequeñas áreas de 0,056 mm y 0,076 mm para *E. camaldulensis* y *E. urophylla*, respectivamente. Para pisos de 14 mm de espesor determinó para carga rodante (50 viajes) de 0,358 mm y 0,365 mm; caída de la esfera de 0,300 mm y 0,348 mm; cargas concentradas en pequeñas áreas de 0,045 mm y 0,111 mm para *E. camaldulensis* y *E. urophylla*, respectivamente. De acuerdo a los resultados obtenidos, encontraron para el piso de 14 mm, de *E. urophylla* en el ensayo de cargas concentradas valores no recomendados para la producción de pisos.

Padilha (2005) para siete clones de *Eucalyptus urophylla* de 8 años, con densidad básica promedio de 0,527 g.cm⁻³ y dureza Janka promedio de 5.170 N, proveniente de plantaciones disponibles en el área experimental de una empresa Forestal de Paraopeba, en ensayos de simulación de pisos en servicio, determinaron valores promedios en ensayo de carga rodante (50 viajes) una depresión de 3,00 mm; en ensayo de cargas concentradas en pequeñas áreas (100 viajes) una depresión de 0,059 mm; en ensayo de caída de esfera a una altura de 180 cm una depresión de

0,468 mm; en ensayo de fricción, para madera con acabado, coeficientes de fricción estático y dinámico de 0,376 y 0,230, respectivamente. En base a estos resultados, los autores, indican que las maderas de los siete clones evaluados presentaron comportamiento mecánico ligeramente inferior que las maderas nativas usualmente empleadas en la fabricación de pisos.

Marchesan (2016) para madera de *Hovenia dulcis* de 18 años, proveniente de la floresta Ombrófila Mista, localizada en el campus de la Universidad Estadual do Centro Oeste- UNICENTRO, del municipio de Iratí, una masa específica básica de $0,540 \text{ g.cm}^{-3}$ y dureza Janka de 5.852 N, en ensayos de simulación de pisos en servicio determinó para el ensayo de carga rodante (50 viajes) una depresión media de 0,430 mm; en el ensayo de cargas concentradas en pequeñas áreas (100 viajes) una depresión promedio de 0,110 mm; en el ensayo de caída de esfera a una altura de 180 cm una depresión media de 0,370 mm; para el ensayo de abrasión a 500 ciclos una depresión media de 0,080 mm; en el ensayo de fricción, para la madera sin acabado, determinó coeficientes de fricción estático y dinámico promedio de 0,470 y 0,250, respectivamente. En base a estos resultados, la autora, indica que la madera de *Hovenia dulcis* presentó resistencia superior o semejante a especies exóticas utilizadas en Brasil para la fabricación de pisos, e inferior a especies latifoliadas nativas ampliamente utilizadas en el Brasil. Presenta baja resistencia para los esfuerzos máximos en los ensayos de simulación de pisos en servicio, sin embargo, recomienda su uso en pisos de tránsito liviano o en lugares donde las cargas son bajas.

Oliveira et al. (2019) al evaluar la calidad de pisos comerciales elaborados con maderas de *Bowdichia nítida* (sucupira), *Dipteryx odorata* (cumarú), *Mimosa scabrella* (améndola) y *Tabebuia impetiginosa* (ipe), suministrada por la empresa IndusParquet, ubicada en la ciudad de Tietê, São Paulo y con masa específica de $0,897 \text{ g.cm}^{-3}$, $1,152 \text{ g.cm}^{-3}$, $0,621 \text{ g.cm}^{-3}$ y $1,067 \text{ g.cm}^{-3}$ respectivamente; en los ensayos de simulación de pisos en servicio encontraron lo siguiente: ensayo de carga rodante (50 viajes), depresión media de 0,105 mm, 0,110 mm, 0,205 mm y 0,458 mm para las especies ipe, cumarú, sucupira y améndola respectivamente. En el ensayo de cargas concentradas en pequeñas áreas (100 viajes) depresión promedio de 0,016 mm y 0,024 mm para las especies sucupira y améndola respectivamente, mientras que las

especies Ipe y cumarú no presentan depresiones. En el ensayo de caída de esfera a una altura de 180 cm, depresión media de 0,159 mm, 0,129 mm, 0,262 mm y 0,358 mm; en base a sus resultados, los autores, proponen tres clases de calidad que servirán de referencia para comparaciones con otras maderas para uso en pisos e indicar información al consumidor, para una vida útil mas larga de los pisos.

Flórez (2016) para evaluar la madera de teca, proveniente de una plantación experimental de teca (*Tectona grandis* L.f), con 13 años de edad localizado no município de Vazante Minas Gerais), con densidad básica de $0,54 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, en ensayos de simulación de pisos en servicio determinaron lo siguiente: ensayo de carga rodante (50 viajes) una depresión media de 0,44 mm; en el ensayo de cargas concentradas en pequeñas áreas valores de depresión comprendido entre 0.0006 mm y 0.300 mm; en el ensayo de caída de esfera a una altura de 180 cm una depresión media de 0,500 mm; en el ensayo de abrasión a 500 ciclos una depresión media de 0,100 mm; en el ensayo de fricción, para madera sin acabado, determinaron coeficientes de fricción estático y dinámico promedio de 0,370 y 0,180, respectivamente. En base a estos resultados, el autor indica que la madera de teca presentó baja resistencia en ensayos de simulación de suelos en servicio para máximos esfuerzos, pero apta para tráfico ligero o usos exteriores en forma de cubiertas para piscinas, en las que las cargas son bajas y los agentes abrasivos se minimizan.

Costa (2019) evaluó la calidad de piso de cinco especies tropicales que fueron provistas por la empresa Brasil Tropical Pisos, ubicada en Alta Floresta, Mato Grosso, estas especies fueron: *Dypteryx odorata* (Aubl.) Willd (cumarú), *Handroanthus spp.* (ipe), *Hymeneae courbaril* Linneaeus (jatobá), *Astronium lecointei* Ducke (muiracatiara) y *Bowdichia virgilioides* Kunth (sucupira-preta), la densidad básica de los pisos de madera de las especies evaluadas varió de $0,735$ a $0,958 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, con las maderas de cumarú, ipê y jatobá clasificadas como pesadas y las de muiracatiara y sucupira-negra como moderadamente pesadas. En las pruebas de simulación, las pruebas de impacto de la bola de acero en caída, el índice de hendidura osciló entre 0,184 mm y 0,488 mm; de fricción estática y dinámica los promedios variaron de 0,130 mm a 0,622 mm; en el ensayo de cargas concentradas en pequeñas áreas, las depresiones promedio variaron de 0,012 mm a 0,043 mm; de carga rodante las

depresiones medias variaron de 0,035 mm a 0,246 mm y de abrasividad las depresiones promedio variaron de 0,096 mm a 0,200 mm En base a estos resultados los autores proponen los pisos de coumaru, ipê, jatobá y sucupira-preta para ambientes con tráfico intenso, donde se produce el arrastre o caída de objetos, como industrias y empresas. El suelo de muiracatiara se puede utilizar en entornos residenciales, con poco tráfico, donde las cargas ejercidas son bajas.

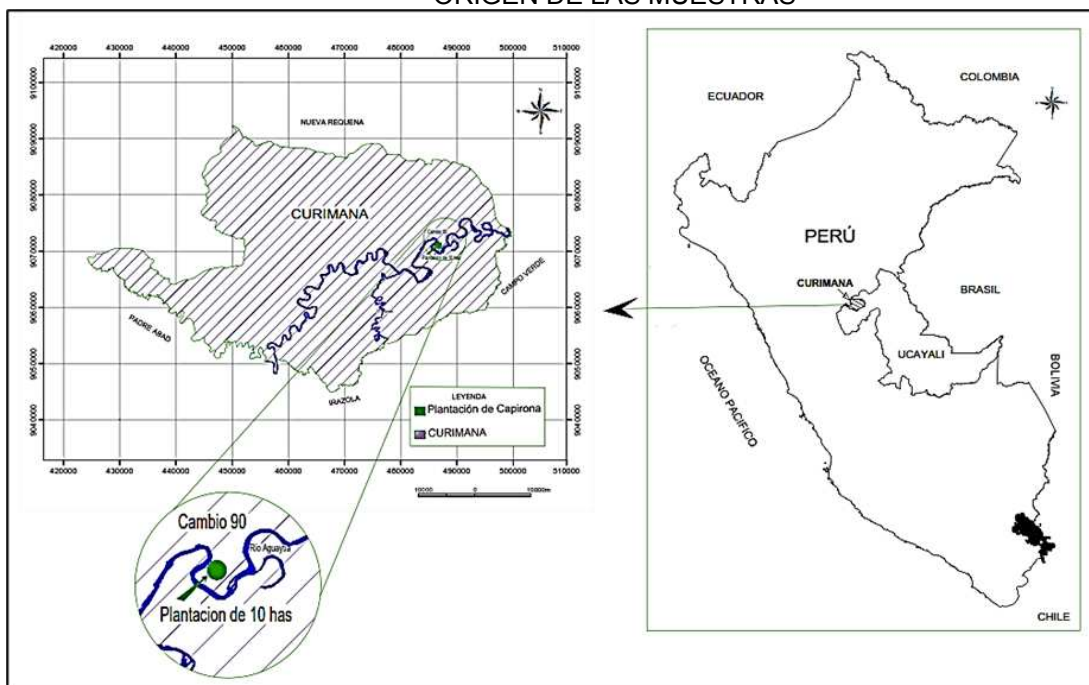
Barbosa et al. (2014) con el propósito de realizar un análisis de pisos de bambú en servicio para destacar el uso del bambú de *Dendrocalamus giganteus* combinado con paneles de madera Edge-Glued (EGP) de *Pinus radiata* como un producto más noble de mayor calidad, más duro y con valor agregado. La masa específica básica obtenida fue de $0,67 \text{ g.cm}^{-3}$, en las pruebas de simulación como cargas concentradas en pequeñas áreas, impacto de bola que cae, carga rodante, abrasión y fricción, se obtuvo resultados satisfactorios en comparación con otros tipos de madera. En base a estos resultados, los autores indicaron que el compuesto "EGP / Bamboo" se puede aplicar con éxito para pisos internos.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Los árboles se obtuvieron de una plantación experimental de capirona (*Calycophyllum spruceanum* (Benth)) de 20 años a partir de regeneración natural con un distanciamiento de 3 x 5 m sobre una extensión de 10 ha, sin tratamientos silviculturales, localizados en el sector cambio 90, distrito de Curimaná, provincia de Padre Abad, Región Ucayali, situado a 8°24'15.11" de latitud sur, con intersección con el meridiano 75°7'14.66" de longitud oeste, mostrado en la FIGURA 2. Posee un clima tropical, considerado Af según la clasificación climática de Köppen-Geiger, con promedio de 26,3°C, una altitud de 184 metros sobre el nivel del mar, con una precipitación anual promedio de 2672 mm (CLIMATE-DATA-ORG). Los suelos son mayormente de origen aluvial, formado por acumulación de arcilla, limos, arenas y conglomerados (AUCCALLA, 2019).

FIGURA 2 - LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LA PLANTACIÓN DE *Calycophyllum spruceanum* Y ORIGEN DE LAS MUESTRAS



FUENTE: La autora (2020)

3.2 SELECCIÓN DE LOS ÁRBOLES Y OBTENCIÓN DE TROZAS

Para la determinación de las propiedades tecnológicas de la madera de *C.spruceanum* fueron extraídos seis árboles, seleccionados en función de la necesidad de individuos con fuste recto, buen estado fitosanitario y que representen aleatoriamente a la especie. La edad de 20 años de la plantación, se obtuvo de la información oficial del Servicio Forestal y de Fauna Silvestre “SERFOR” y la declaración del propietario de la plantación. A los árboles seleccionados se les midió el diámetro a 1,30 m del suelo (DAP) y la altura comercial (HC). Las características de los árboles colectados se muestran en la el TABLA 4.

Una vez que los árboles fueron tumbados, se obtuvieron por árbol, 4 trozas (T1, T2, T3 y T4) y 6 rodajas de 50 mm de espesor, distribuidos uno en la base, dos en el DAP y uno en el extremo superior de cada troza, totalizando 36 rodajas, las que fueron utilizadas para la medición de, excentricidad de médula y propiedades anatómicas.

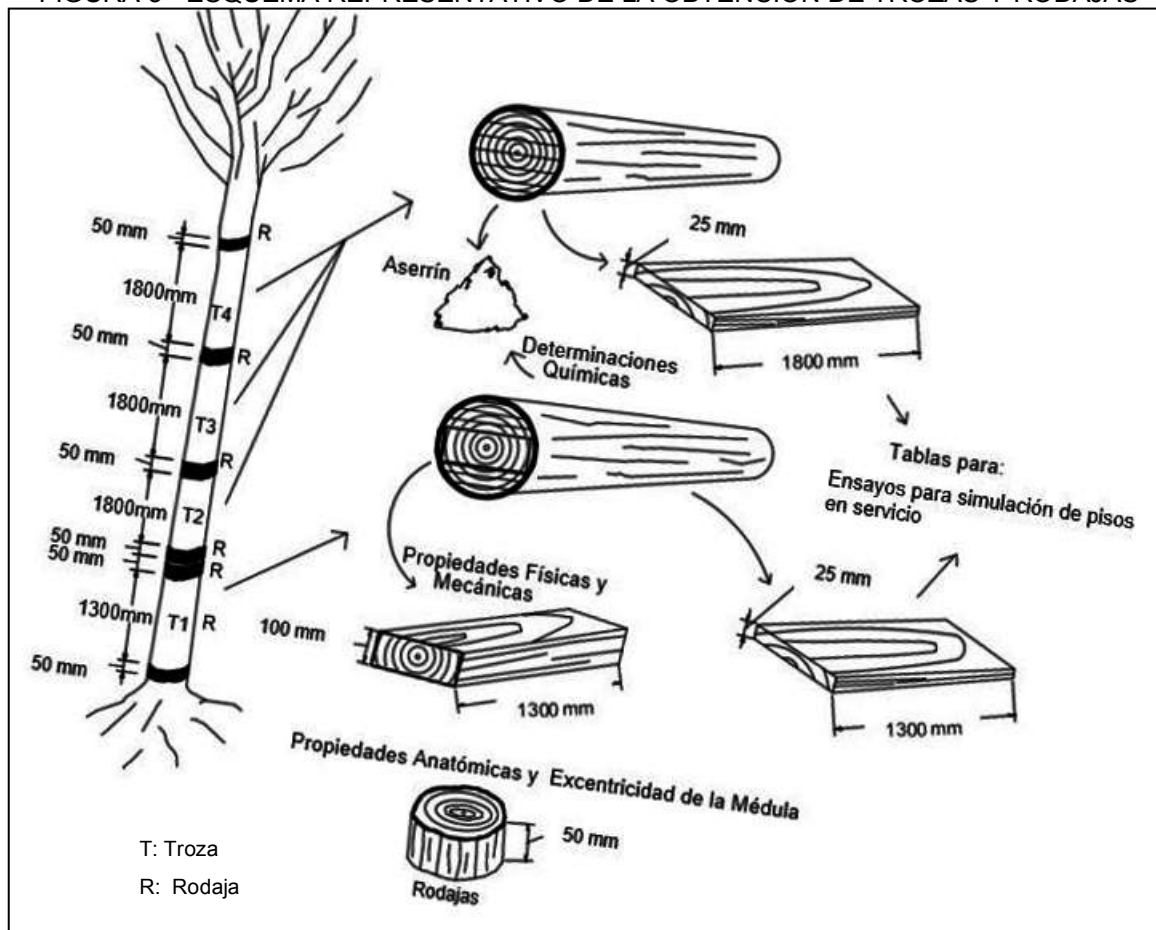
Las primeras trozas a partir de la base hasta el DAP, fueron despuntadas a una longitud de 1300 mm y las 3 trozas restantes a una longitud de 1800 mm, todas las trozas fueron selladas con pintura en ambos extremos para prevenir que desarrollen rajaduras luego del despuntado. Las características de los árboles colectados se muestran en la FIGURA 3.

TABLA 4 - DIMENSIONES DE LOS ÁRBOLES DE *Calycophyllum spruceanum*

ARBOL N°	DAP		ALTURA COMERCIAL (m)	VOLUMEN (m ³)
	ESPESOR DE CORTEZA (cm)	DIAMETRO (cm)		
1	0,95	24,20	18,50	0,72
2	1,13	23,90	16,05	0,92
3	1,30	25,60	20,93	0,97
4	1,83	29,70	19,06	1,34
5	1,65	27,50	20,20	1,02
6	1,30	23,55	19,58	0,66
Promedio	1,36	25,74	19,05	0,94
CV (%)	23,99	9,41	8,92	25,90
VOLUMÉN TOTAL (m ³)				5,64

FUENTE: La Autora (2020)

FIGURA 3 - ESQUEMA REPRESENTATIVO DE LA OBTENCIÓN DE TROZAS Y RODAJAS



FUENTE: La autora (2020)

3.3 ASERRIO DE LAS TROZAS

Todas las trozas fueron llevadas al aserradero Industrias Forestales BJ S.A.C. ubicada en Manantay-coronel Portillo-Ucayali-Perú, provisto de una sierra principal de cinta vertical, marca Schiffer (FIGURA 4)

FIGURA 4 - (A): SIERRA DE CINTA VERTICAL UTILIZADA PARA LA OBTENCIÓN DE TABLAS. (B): TROZAS DE *Calycophyllum spruceanum*



FUENTE: La autora (2020)

Las seis trozas de la base (T1), fueron aserradas a tablas de 25 mm x 1300 mm de espesor y longitud respectivamente y ancho variable, utilizadas en la obtención de probetas de ensayo para la simulación de pisos de madera en servicio y para bloques centrales de 100 mm de espesor x ancho variable mm x 1300 mm de longitud, utilizadas en la elaboración de probetas para la determinación de los ensayos físicos y mecánicos de la madera.

De las 18 trozas restantes, mediante el sistema de cortes tangenciales se obtuvieron 99 tablas de 25 mm de espesor x ancho variable mm y 1800 mm de longitud. Durante el proceso de aserrío se obtuvo un rendimiento de 44,78%.

Los bloques centrales fueron acondicionados en cámara climatizada y posterior preparación de probetas de ensayos para las propiedades físicas y mecánicas de la madera

El proceso de secado se llevó a cabo en un horno de secado convencional de un m³ de capacidad (FIGURA 5), durante diecisiete días, siguiendo el programa de secado para la *C. spruceanum*, que fue investigada y publicada en el manual: “Fabricación de muebles con maderas poco conocidas LKS - Guía de Procesamiento Industrial 2006 (Sibille, 2006) para madera de Capirona”. Al término del secado se

observó que solo un par de tablas estaban ligeramente partidas. Considerando que es un buen indicador de la eficiencia del programa para esta especie en particular.

FIGURA 5 - SECADO DE LA MADERA DE *Calycophyllum spruceanum* EN HORNO ELÉCTRICO DE 1 m³ DE CAPACIDAD



FUENTE: La autora (2020)

Para monitorear el contenido de humedad de la madera durante el proceso, se colocaron tres sondas en diferentes puntos de la carga, los que indicaron al inicio del ciclo de secado un contenido de humedad promedio de 38,8 %. El programa de secado se presenta en la TABLA 5.

TABLA 5 - PROGRAMA UTILIZADO PARA EL SECADO DE LA MADERA DE *Calycophyllum spruceanum*

Etapas	Temperatura °C	Contenido Humedad de la Madera	Contenido de Humedad de Equilibrio (%)	Humedad Relativa (%)	Gradiente de secado
1	30	38,8	22,3	95	-
2	35	32,6	17,5	84	-
3	35	29,2	14,6	79	-
4	40	25,2	10,9	64	2,3
5	40	21,8	8,9	54	2,4
6	45	18,4	7,2	44	2,6
7	45	16,4	5,9	34	2,8
8	50	14,1	4,9	29	2,9
9	50	12,0	4,6	26	2,6
10	50	10,9	4,5	23	2,4
11	50	10,0	4,5	23	2,2
12	51	9,8	4,3	22	2,2

FUENTE: SIBILLE (2006)

3.4 CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LA MADERA

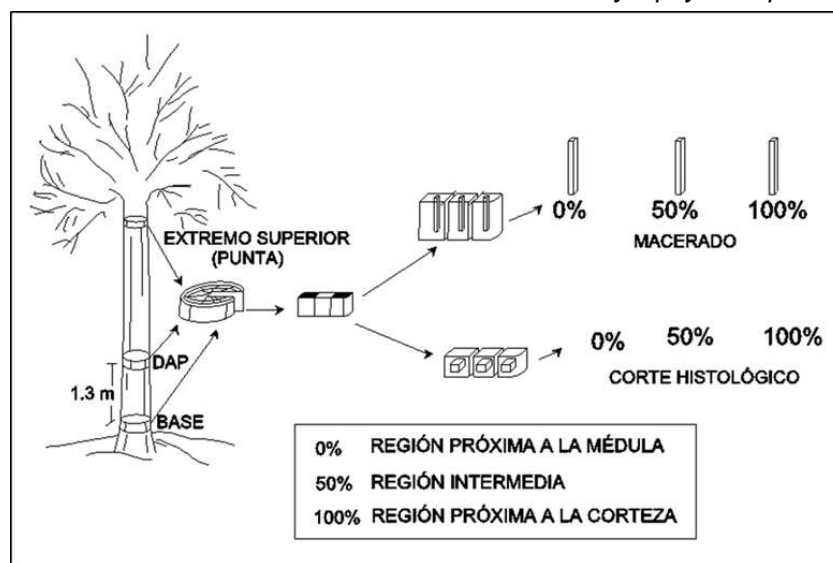
3.4.1 Propiedades anatómicas

Para la descripción de la estructura anatómica se utilizó las Normas de Procedimientos en Estudios de Anatomía de Madera – Angiospermas (IBAMA, 1992) y la lista de las características microscópicas para la identificación de maderas duras (IAWA, 1989).

Para la caracterización microscópica de la madera se retiraron tres discos de madera de 50 mm de espesor correspondientes a la base, DAP y ápice. De cada uno de los discos fueron retirados 3 muestras de $10 \times 10 \times 10 \text{ mm}^3$ de las regiones entre la médula y la corteza, distribuidos de manera equidistante.

Se prepararon 18 muestras por árbol, haciendo un total de 108 muestras en los seis árboles seleccionados. Se utilizaron nueve muestras para la preparación de láminas histológicas y nueve muestras para la preparación del material disociado (macerado) para montaje de láminas (fibras y vasos), conforme a la FIGURA 6.

FIGURA 6 - ESQUEMA DE MUESTREO DE LOS DISCOS EN LOS ÁRBOLES Y PROBETAS PARA LA CARACTERIZACIÓN ANATÓMICA DE LA MADERA DE *Calycophyllum spruceanum*



FUENTE: La autora (2020)

Las muestras de madera, en forma de cubos que se destinaron a la preparación de láminas histológicas, pasaron por un proceso de ablandamiento, por ebullición en hidróxido de sodio (NaOH 3%), durante dos horas. De cada cubo se obtuvieron láminas de 20-25 μm en sus tres secciones, transversal, radial y tangencial, utilizando un micrótomo de deslizamiento horizontal. Cada lámina fue sometida a un proceso de deshidratación con alcohol de 30°, 60° y 90° GL, coloración con safranina; lavado con alcohol de 96° GL fijación con xilol y montaje. Finalmente se agregó una gota de un adhesivo de montaje, pegamento de secado instantáneo, entre lamina porta objeto y cubre objeto. Se obtuvieron 9 láminas histológicas por árbol y 54 láminas de los seis árboles seleccionados.

Otro grupo de cubos de madera se utilizaron para la obtención de fibras y vasos, pasaron por un proceso de maceración, con ácido nítrico (HNO_3 33%), calentado a 80 °C entre 15 a 20 minutos, luego lavado, separando los elementos anatómicos, fibras y vasos, con alcohol 96°GL y su coloración con safranina. Luego de un reposo de 20 horas se fijó con xilol y montaje. Finalmente se agregó una gota de adhesivo de montaje, pegamento de secado instantáneo, entre lámina porta objeto y cubre objeto. Se obtuvieron 9 láminas con fibras y vasos por árbol y 54 láminas de los 6 árboles seleccionados.

Se tomaron 25 mediciones por posición para cada elemento anatómico con ayuda del programa LAZ Leica Aplicacion, que registraron en una hoja Excel, datos de diámetro tangencial de poros, número de poros por mm^{-2} , altura de radios, ancho de radios, número de células en altura y ancho de radios, longitud de vasos, número de radios por mm lineal, diámetro total, lumen, espesor de pared y longitud de fibras.

Para la descripción macroscópica, se extrajo una troza de la base del árbol de 500 mm de largo, a partir del cual se obtuvieron probetas de 20 x 100 x 150 mm, debidamente orientada en cortes tangencial, radial y transversal. Se evaluaron: Color de la madera, aplicando la tabla de color para tejidos vegetales Munsell (1977); brillo haciendo incidir una fuente de luz sobre la superficie de la madera; textura, se determinó en la sección transversal según el tamaño de poros y la cantidad de tejido parenquimático; la descripción de las características como poros, parénquima, radios, y anillos de crecimiento, se realizaron a simple vista o con ayuda de lupa de 10X en

las secciones transversales. El veteado se observó en la sección radial y tangencial. También se preparó un listón de 50 x 50 x 500 mm, debidamente orientados en sus tres planos de corte para preparar 10 cubos de 50 mm de lado; el grano se determinó al ser observada la sección radial, cuando los cubos fueron partidos; olor y sabor se determinaron mediante sentido del gusto y olfato en los cubos inmediatamente después de seccionarse para la determinación del grano.

La descripción de la albura y duramen se realizó mediante la observación de la rodaja en su cara radial. Se incluyó el análisis de excentricidad de la médula, con el fin de añadir información adicional respecto a la calidad de la troza de la madera de *C. spruceanum* proveniente de bosques plantados.

3.4.1.1 Excentricidad de la médula

Con la finalidad de tener un valor promedio de la excentricidad de la médula del fuste del árbol, se tomaron 3 rodajas de 50 mm de espesor: de la base, a la altura del DAP y del extremo superior del fuste: Las rodajas fueron lijadas en uno de sus extremos, para poder visualizar la posición de la médula.

Para la medición de los radios, cada disco fue escaneado y las imágenes obtenidas fueron acopladas y calibradas en software AutoCAD 2019. (FIGURA 7).

Siguiendo la metodología de Flórez (2014), se determinó la excentricidad de la médula, ubicando el centro geométrico de cada disco y midiendo la distancia de la médula a su centro mismo. La excentricidad de la médula fue determinada mediante la siguiente ecuación:

$$EM = \frac{Lc}{dm} \times 100 \quad (1)$$

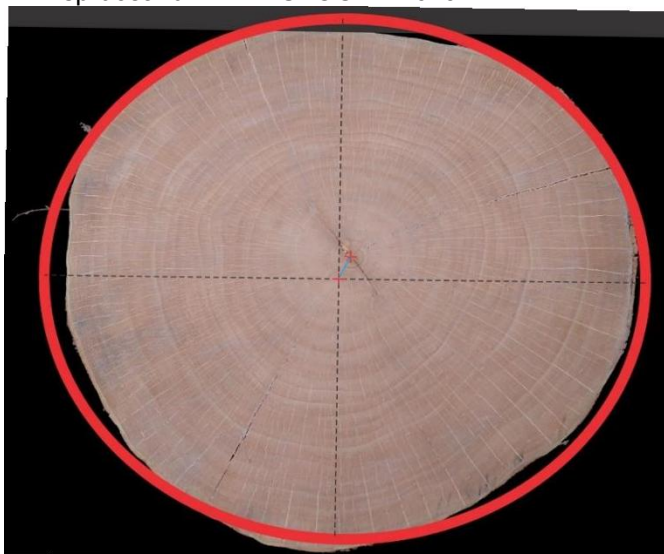
Donde:

EM: Excentricidad de la médula en %

Lc: distancia entre el centro geométrico y la posición real de la médula (mm)

dm: diámetro medio del disco correspondiente (mm)

FIGURA 7 - DETERMINACION DE LA EXCENTRICIDAD DE LA MÉDULA DE *Calycophyllum spruceanum* EN AUTOCAD 2019



FUENTE: La autora (2020)

3.4.2 Propiedades físicas

Los ensayos para la determinación de las propiedades físicas de la madera se realizaron en el laboratorio de tecnología de la madera y en el laboratorio de secado de la madera de la Universidad Nacional Agraria La Molina-Perú

Se determinó la masa específica básica, masa específica aparente, contenido de humedad inicial, contracción volumétrica, contracción tangencial, radial y coeficiente anisotrópico T/R de acuerdo con lo estipulado por la norma D143-94 (ASTM 2000) Métodos de prueba estándar para pequeños especímenes claros de madera.

A partir del bloque central de la primera troza (T1), se prepararon 10 probetas por árbol, con las dimensiones de 25 x 25 x 100 mm, con ellas se determinó la masa específica verde, contenido de humedad inicial y la masa específica básica.

Para la determinación de masa específica aparente al 12% se empleó 10 probetas por árbol (T1), orientados con dimensiones nominales de 25 x 25 x 100 mm.

Asimismo, se prepararon 10 probetas por árbol (T1) correctamente orientados con dimensiones de 25 x 25 x 100 mm, libres de defectos, en su condición de saturado. Las probetas fueron codificadas y medidas en estado saturado, aproximadamente 12%

y 0% de humedad. Con los datos se determinó la contracción volumétrica y contracción radial; para finalmente determinar el coeficiente anisotrópico de la madera (T/R).

3.4.3 Propiedades mecánicas

Este ensayo se llevó a cabo en el Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Universidad Nacional Agraria La Molina-Perú.

Se prepararon las probetas de prueba a partir de los bloques centrales de la primera troza (T1), los que fueron reaserrados en piezas menores y acondicionados en cámara climatizada hasta que alcanzaron condiciones de humedad de equilibrio de aproximadamente 12%.

A partir de esta madera estabilizada se prepararon las probetas de prueba para determinar las propiedades mecánicas de la madera: compresión paralela a las fibras, flexión estática, cizallamiento y determinación de dureza. Tomándose como referencia la investigación realizada por Marchezan (2016). Para cada caso, las probetas fueron dimensionadas y ensayadas siguiendo la norma D143 – 94 (ASTM, 2000).

Por cada árbol se prepararon cinco probetas por ensayo, totalizando 120 en los cuatro ensayos. Luego fueron procesadas en la máquina universal de ensayos Tinius Olsen, con 60.000 lb de capacidad y sus accesorios correspondientes. Los resultados obtenidos se presentan en el Sistema Internacional de Unidades (SI), esto es la propiedad de flexión estática, compresión paralela a las fibra y cizallamiento en megapascuales (Mpa) y dureza Janka en newton (N).

Algunas propiedades mecánicas de la *C. spruceanum*, fueron convertidos a valores característicos, para comparar las propiedades mecánicas de la madera de *C. spruceanum* para uso estructural y clasificarla en la clase que le corresponda siguiendo la NBR 7190 (ABNT, 1997) . La conversión se realizó mediante:

Fórmula para hallar los valores característicos de las propiedades mecánicas

$$f_{wk} = \left(2 * \frac{f_1 + f_2 + \dots + \frac{f_n}{2} - 1}{\frac{n}{2} - 1} - \frac{f_n}{2} \right) * 1,1 \quad (2)$$

Donde:

- Los resultados son colocados en forma de orden decreciente
- $f_1 \leq f_2 \dots \dots \dots \leq f_n$. Despreciándose el valor más alto si el número de probetas es impar.
- Fwk no debe ser menor de f_1 , ni a 0,7 del valor medio.

3.4.4 Caracterización química

Para la caracterización química de la madera, se utilizó aserrín a partir de una mezcla homogeneizada obtenida durante el aserrío de las trozas de los seis árboles seleccionados. Para la determinación de los componentes químicos, se utilizó la fracción obtenida mediante tamices 40/60 mesh, según norma TAPPI lim-59. Se realizaron los siguientes análisis:

- Extractivos en alcohol benceno: norma TAPPI T605-59
- Extractivos en agua caliente: norma TAPPI T207- om – 93
- Extractivos en agua fría: norma TAPPI T207 - om- 08
- Lignina: norma TAPPI T222 - om – 88
- Cenizas: norma, TAPPI T211 om- 93
- Sílice: norma, TAPPI T245 om -98
- Holocelulosa; norma, ASTM D-1104
- Celulosa: norma ANSI/ASTM D1103
- Hemicelulosa se determinó por diferencia (Holocelulosa-Celulosa)
- pH : norma TAPPI T252- om- 12.

3.5 ENSAYOS PARA SIMULACIÓN DE PISOS DE MADERA EN SERVICIO

Los ensayos para simulación de pisos de madera en servicio se realizaron siguiendo la norma D-2394-05 (ASTM, 2008) con algunas modificaciones. Esta norma describe y orienta la forma como se debe ejecutar los ensayos de carga rodante, cargas concentradas en pequeñas áreas, impacto de caída de la esfera de acero, abrasividad y rozamiento estático y dinámico. El desarrollo de los ensayos y obtención

de resultados, se realizaron siguiendo la metodología descrita por Martins (2008), Santos (2008), Flórez (2016) y Marchesan (2016)

Los equipos utilizados para los ensayos de carga rodante y cargas concentradas en pequeñas áreas fueron contruídos por la Universidad Nacional Agraria La Molina y los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Preservación y Secado de la Facultad de Ciencias Forestales.

Para realizar los ensayos de impacto de caída de la esfera de acero, abrasividad y rozamiento estático y dinámico, se utilizaron los equipos del Centro de Innovación Tecnológica de la madera (CITEmadera). Lima-Perú.

Teniendo en cuenta que la *C. spruceanum* no presentó albura diferenciada, se consideró agruparlas en probetas de madera cerca a la médula, lo que correspondería al duramen, y probetas cerca a la corteza, lo que correspondería a albura, como primer y segundo grupo respectivamente, ambos sin acabado y con acabado.

En una de las caras de cada probeta del ensayo se le aplicó el barniz de poliuretano DD, luego los ensayos se realizaron en ambas caras con acabado y sin acabado. En la TABLA 6, se presenta la distribución de factores y variables consideradas en las pruebas de simulación de pisos en servicio, así como el número de muestras por ensayo. En el CUADRO 1 se detallan las características de los tratamientos de acabado, aplicados a las probetas de ensayo de simulación de pisos en servicio.

TABLA 6 - DISTRIBUCIÓN DE NIVELES Y FACTORES PARA LAS PRUEBAS DE SIMULACIÓN DE PISOS EN SERVICIO DE *Calycophyllum spruceanum* de 20 AÑOS

N° de repeticiones / ensayo						
Factor	Niveles del factor	Carga Rodante	Carga concentrada en pequeñas áreas	Impacto de caída de esfera de acero	Abrasividad	Fricción
Dimensiones		(240 x 115 x 20 (mm))	240 x 115 x 15 (mm)	240 x 140 x 20 (mm)	95 x 95 x 10 (mm)	240 x140 x 20 (mm)
Cerca médula	Sin acabado	30	45	72	27	35
	Con acabado	30	45	72	27	35
Cerca corteza	Sin acabado	30	45	72	27	35
	Con acabado	30	45	72	27	35
N° TOTAL DE LECTURAS		120	180	288	108	140

FUENTE: La autora (2020)

CUADRO 1 – CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO DE ACABADO APLICADO A MADERA DE *Calycophyllum spruceanum*

TIPO DE ACABADO	DESCRIPCIÓN
Sin acabado	La superficie de la madera fue cepillada y lijada manualmente con secuencia de granulometría lija 120 a lija 200. Sin acabado.
Barniz DD	Formado por dos partes, Parte A: BARNIZ D/D A5 y Parte B: PRODUCTO D/D B5; es un producto bicomponente elaborado con resinas de poliuretano. La parte A es de acabado brillante y de color transparente, con un peso específico de 1,03 a 1,09 con 28 a 32% de sólidos en volumen de mezcla. La parte B es de color transparente con un peso específico de 1,02 a 1,08. En la preparación de mezcla se emplea como diluyente al Disolvente D/D, empleando 1 vol de parte A, 1 vol de parte B y 1 vol de disolvente. La aplicación se hizo con brocha y a tres pasadas (tres manos).

FUENTE: TECNOQUIMICA S.A. (www.tekno.com.pe)

3.5.1 Ensayo de carga rodante

El equipo utilizado consiste en una mesa rodante de 1700 x 550 mm (longitud x ancho) que corresponde a la colocación de ocho probetas de acuerdo a las medidas mencionada y colocadas en un ángulo de 45° entre el eje axial de las fibras y la

dirección de desplazamiento de la carga. El equipo provisto de dos ruedas laterales y una rueda central se mueve entre dos carriles. La rueda central es la que trasmite a la madera, una carga de 890N, movida por un motor eléctrico que lo desliza sobre la superficie a una velocidad de $0,006 \text{ m.s}^{-1}$, ocasionando una depresión continua de las piezas (FIGURA 8).

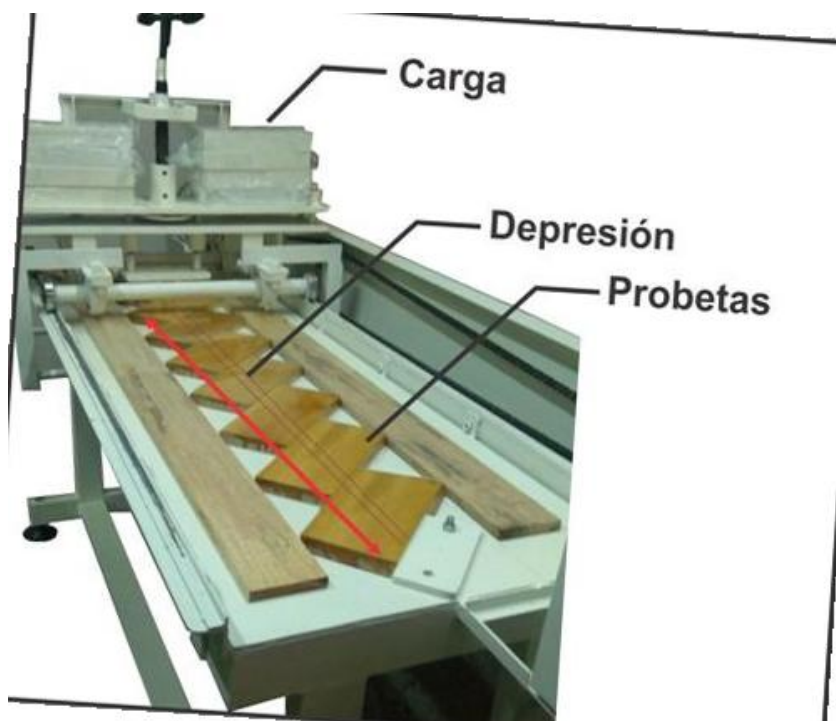


FIGURA 8 - EQUIPO PARA ENSAYO DE CARGA RODANTE EN PISOS DE MADERA DE *Calycophyllum spruceanum*
FUENTE: La autora (2020)

Luego de 10, 25 y 50 ciclos, se midió la profundidad de la depresión, ocasionado por el pasaje de la carga en la región central de la probeta con ayuda de un reloj comparador con precisión de $0,001 \text{ mm}$ (FIGURA 9).

Para el cálculo de la depresión se eligieron nueve puntos para ser leídos con el reloj comparador, tres lecturas en la región central y seis lecturas, tres a cada lado fuera de la depresión (lecturas externas). El valor de la depresión media se determinó mediante la Ecuación 1, siguiendo la metodología de Martins (2008).

$$D = M_{Le} - M_{Li} \quad (3)$$

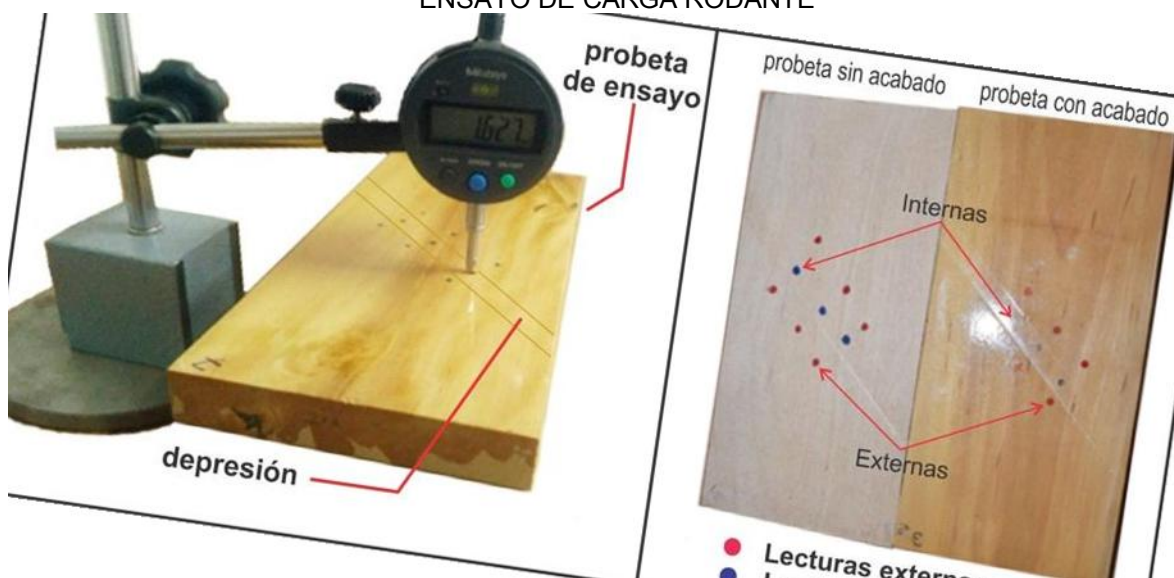
Donde:

D : Depresión (mm)

M_{Le} : Medía aritmética de las lecturas externas (mm)

M_{Li} : Media aritmética de las lecturas internas (mm)

FIGURA 9 - OBTENCIÓN DE MEDIDAS PARA EL CÁLCULO DE DEPRESIÓN OCASIONADO POR ENSAYO DE CARGA RODANTE

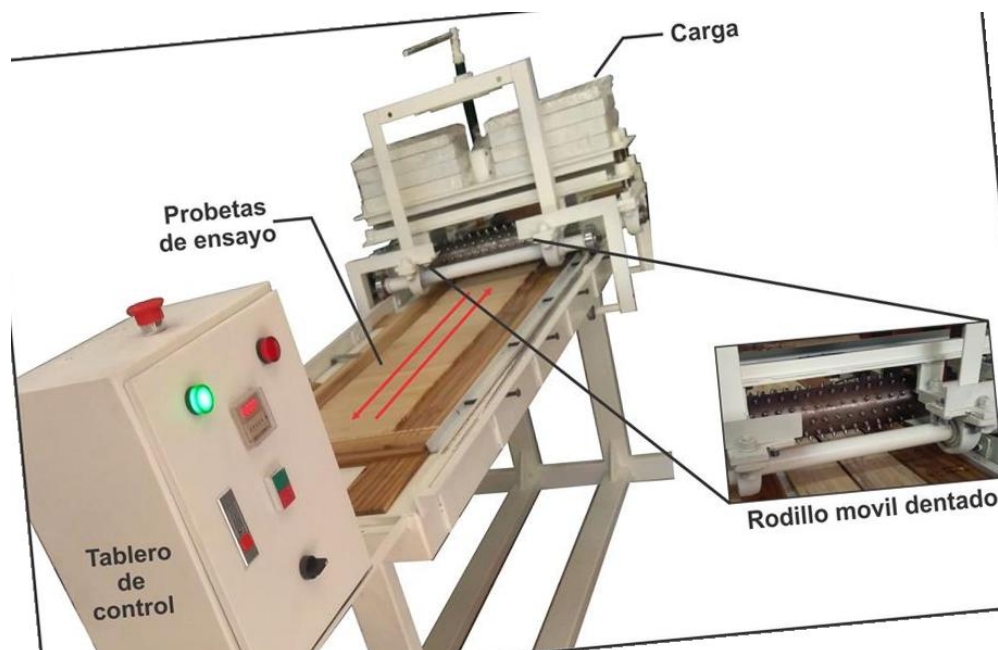


FUENTE: La autora (2020)

3.5.2 Ensayo de carga concentrada en pequeñas áreas

El equipo utilizado consiste en una mesa rodante de 1430 x 240 mm (longitud x ancho) que corresponde a la colocación de 10 probetas de acuerdo a las medidas mencionadas. El equipo está provisto de un rodillo móvil de 150 x 235 mm (diámetro x longitud) que contiene 225 dientes de formato cilíndrico con 5 mm de diámetro, que ejerce una carga distribuida de 890N, movida por un motor eléctrico que se desliza sobre la superficie a una velocidad de $0,006 \text{ m.s}^{-1}$, ocasionando una depresión continua de las piezas (FIGURA 10).

FIGURA 10 - EQUIPO Y DISPOSICIÓN DE LAS PROBETAS DE PRUEBA PARA EL ENSAYO DE HENDIDURA EN PEQUEÑAS ÁREAS



FUENTE: La autora (2020)

Se realizaron 50 y 100 viajes, y en cada batería se midió la profundidad de la depresión, ocasionado por el pasaje del rodillo en toda la probeta, con ayuda de un reloj comparador con precisión de 0,001 mm (FIGURA11).

Para el cálculo de la depresión se eligieron tres puntos para ser leídos con el reloj comparador, una medida en la indentación y cuatro medidas externas. El valor de la indentación se determinó por la diferencia entre el valor medio de las medidas externas y la medida interna mediante la Ecuación 2, siguiendo la metodología de Martins (2008).

$$E = M_{Le} - M_{Li} \quad (4)$$

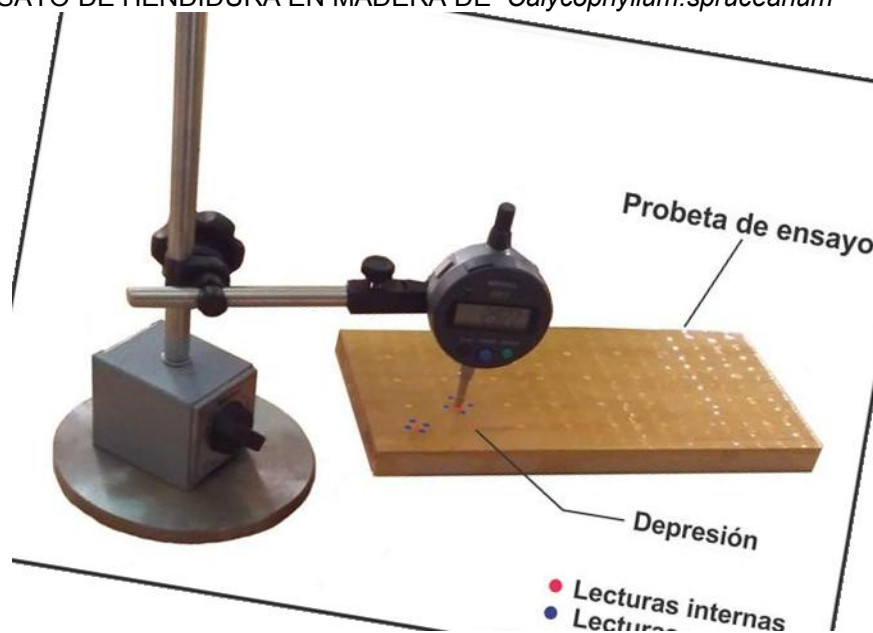
Donde:

E : Indentación (mm)

M_{Le} : Medía aritmética de las lecturas externas (mm)

M_{Li} : Lectura interna (mm)

FIGURA 11 - OBTENCION DE MEDIDAS PARA EL CÁLCULO DE DEPRESIÓN OCASIONADO POR EL ENSAYO DE HENDIDURA EN MADERA DE *Calycophyllum.spruceanum*

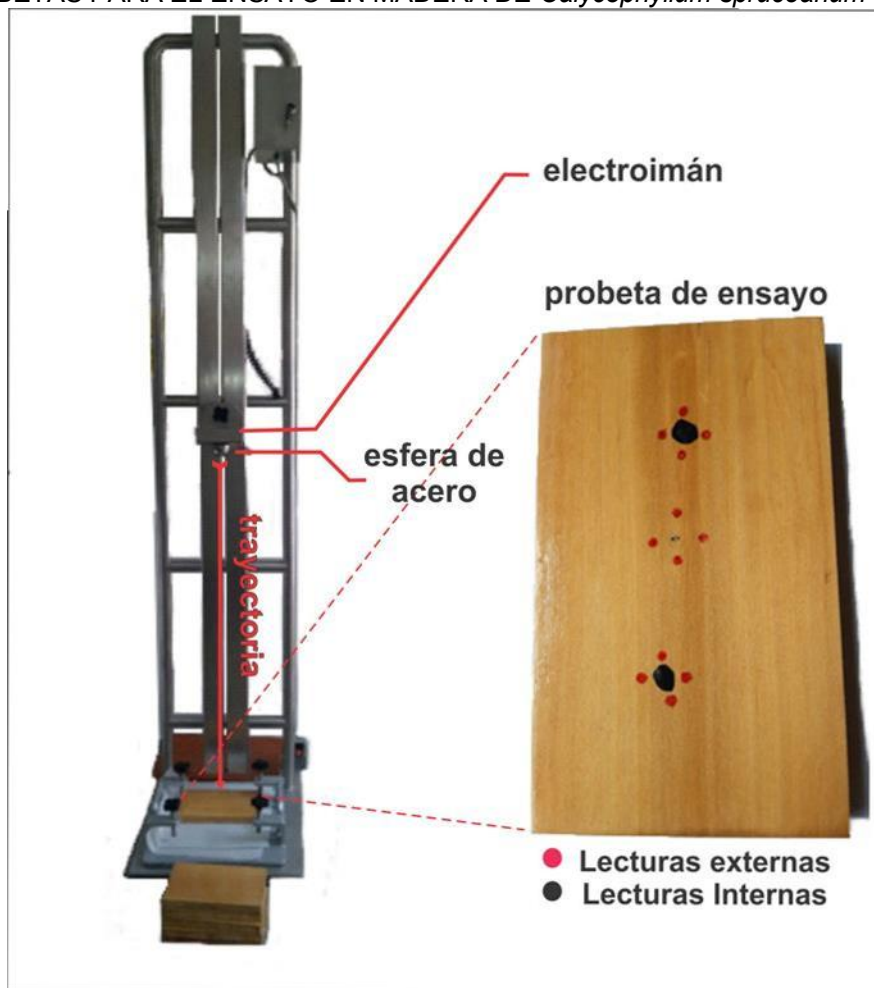


FUENTE: La autora (2020,

3.5.3 Ensayo de impacto de caída de esfera de acero

El equipo utilizado para el ensayo de impacto de caída de esfera de acero esta constituido por una torre de acero inoxidable y dos columnas centrales donde se ubica una plataforma movable que posee un electroimán que suelta verticalmente una unidad de impacto constituida por una esfera de acero de 51 mm de diámetro y 535 g de masa. En uno de los laterales de la columna está fija una regla que permite medir las 12 alturas diferentes de 150 mm a 1800 mm, sobre la probeta de prueba que descansa en una base fija (FIGURA 12).

FIGURA 12 - EQUIPO DE ENSAYO DE CAIDA DE ESFERA DE ACERO Y DISPOSICIÓN DE LAS PROBETAS PARA EL ENSAYO EN MADERA DE *Calycophyllum spruceanum*



FUENTE: La autora (2020)

En cada lanzamiento se libera la esfera tres veces sobre la misma probeta por la desactivación del electroimán. Una hoja de papel para calcar se coloca sobre la probeta para visualizar el área de impacto facilitando la medición de la depresión causada por la esfera, según lo indicado por la norma D2394-05 (ASTM, 2008). La medida de profundidad de la depresión fue obtenida con la ayuda de un reloj comparador con precisión de 0,001 mm., Se midió cuatro puntos externos y un punto interno central de cada depresión como lo demuestra la FIGURA 12. El valor de la depresión se obtuvo por diferencia entre el valor promedio de las cuatro medidas externas y una medida interna Ecuación 3, siguiendo la metodología de Martins (2008).

$$D = M_{Le} - L_i \quad (5)$$

Donde:

D : Depresión (mm)

M_{Le} : Medía aritmética de las lecturas externas (mm)

L_i : Lectura interna (mm)

3.5.4 Ensayo de abrasividad

El equipo empleado para este ensayo fue el Taber Abraser modelo 5135, compuesto por brazos de sustentación con roldanas abrasivas del tipo H-18, un brazo de aspiración de partículas, con cargas de 500 g por brazo y una frecuencia de rotación de 72 ciclos x min^{-1} , sometidos a 500 ciclos de abrasión y una plataforma de sustentación para la muestra (FIGURA 13).

FIGURA 13 - EQUIPO *TABER ABRASER* UTILIZADO PARA EL ENSAYO DE ABRASIVIDAD



FUENTE: La autora (2020)

Este ensayo simula la fricción de elementos abrasivos sobre la superficie de madera. Al finalizar el ensayo se midieron ocho puntos en el área que sufrió la abrasión

y ocho puntos en la superficie original de la probeta, con la ayuda del reloj comparador (0,001 mm). En cada lectura interna la hendidura fue asociada a su respectiva lectura externa, como se ilustra en la FIGURA 14.

El valor de la depresión fue calculado como la diferencia de los promedios aritméticos de las lecturas externas e internas, de acuerdo a la Ecuación 4, siguiendo la metodología de Martins (2008)

$$D_{\text{resist. abrasión}} = \frac{(Le_1 - Li_1) + (Le_2 - Li_2) + \dots + (Le_7 - Li_7) + (Le_8 - Li_8)}{8} \quad (6)$$

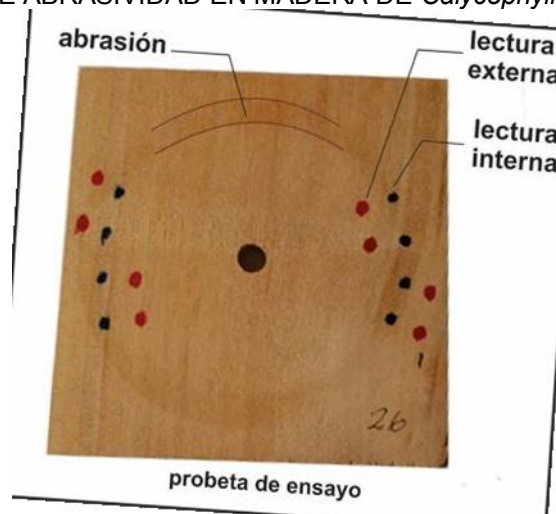
Donde:

$D_{\text{resist. abrasión}}$ = Depresión causada por el ensayo de resistencia a la abrasión

Le_1 = Lectura externa (superficie original para $i = 1$ a 8) (mm)

Li_2 = Lectura interna (área de abrasión, para $j = 1$ a 8) (mm)

FIGURA 14 - OBTENCIÓN DE MEDIDAS PARA EL CÁLCULO DE DEPRESIÓN OCASIONADA POR EN ENSAYO DE ABRASIVIDAD EN MADERA DE *Calycophyllum sprueceanum*



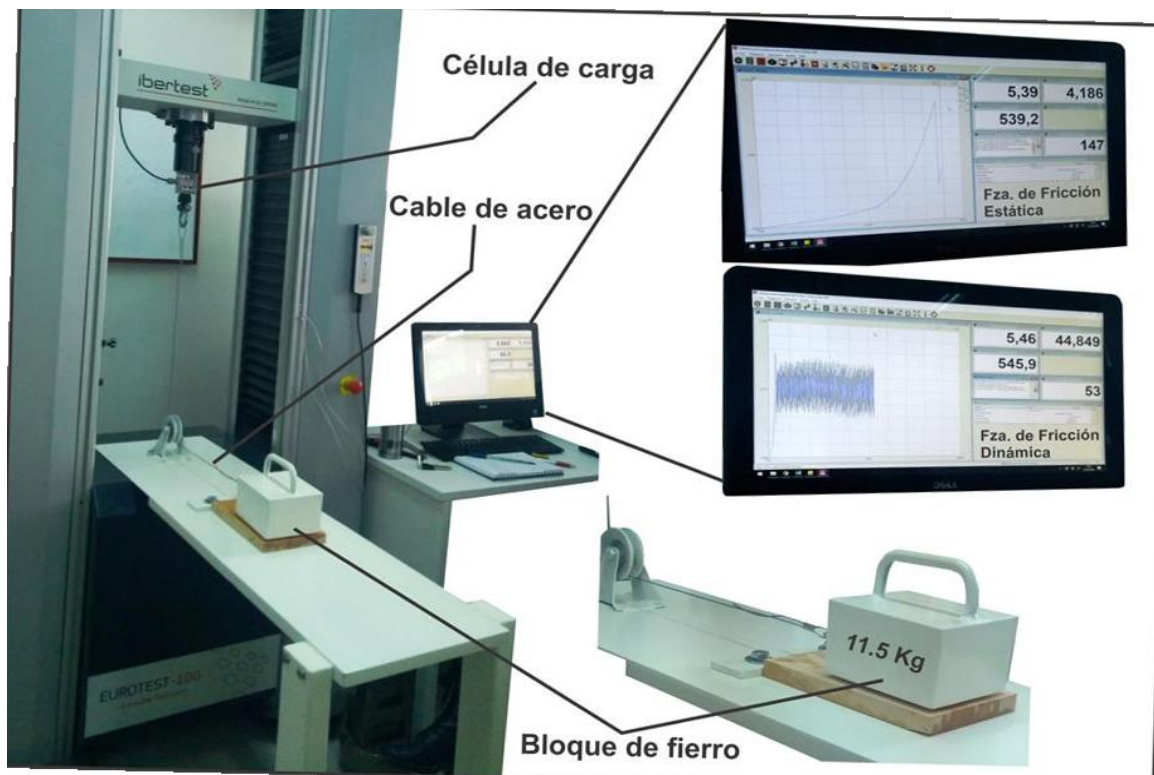
FUENTE: La autora (2020)

3.5.5 Ensayo de rozamiento estático y dinámico

El equipo empleado para este ensayo fue la máquina universal de ensayo, a la que se adaptó un tablero horizontal de hierro que contiene una polea de cambio de sentido de la fuerza vertical para sustentar un paralelepípedo de hierro con cara rectangular y masa de 11,5 kg, unido mediante un cable de acero a la prensa universal y revestido en su cara inferior por un pedazo de cuero de suela de zapato de 102 mm x 114 mm (FIGURA 15).

Durante el ensayo el equipo registró la fuerza necesaria para dar movimiento al paralelepípedo de hierro sobre la probeta a una velocidad de 1,7 mm/min (rozamiento estático) y una fuerza media para mantener el paralelepípedo de hierro en movimiento a una velocidad de 51 mm/min (rozamiento dinámico). El coeficiente de rozamiento estático se determinó dividiendo la fuerza máxima entre la masa del paralelepípedo y el coeficiente de rozamiento dinámico se determinó dividiendo la fuerza media entre la masa del paralelepípedo.

FIGURA 15 - REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE FRICCIÓN ESTÁTICO Y DINÁMICO EN MADERA DE *Calycophyllum spruceanum*



FUENTE: La autora (2020)

3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para todas las pruebas se aplicaron las estadísticas básicas descriptivas: Media, desviación estándar, coeficiente de variación, pruebas de normalidad y homogeneidad de variancias de las variables en estudio.

Para las propiedades anatómicas se aplico el diseño completo al azar con arreglo factorial 3 x 3 (posición radial y posición longitudinal) para cada variable de estudio.

Un análisis de Regresión lineal y coeficiente de correlación de Person (r) para los factores de masa específica y dureza Janka de la madera.

Para el análisis de simulación de pisos en servicio se empleó: Análisis de Regresión lineal y coeficiente de correlación de Person (r) para impacto de la caída de esfera de acero y la depresión causada en la probeta por su caída. Análisis de varianza (ANOVA) para todos los datos mediante el diseño t-Pareada para comparación de medias entre los tratamientos sin acabado y con acabado. Diseño Completo al Azar (DCA) para la composición: madera cerca a la médula y madera cerca a la corteza, sin acabado y con acabado. Diseño de Bloques Completo al Azar (DBCA) para los bloques: madera sin acabado y madera con acabado.

Todos los datos fueron comparados utilizando la prueba t -Student para el diseño t-Pareada y Tukey para DCA y DBCA, a 5% de probabilidad.

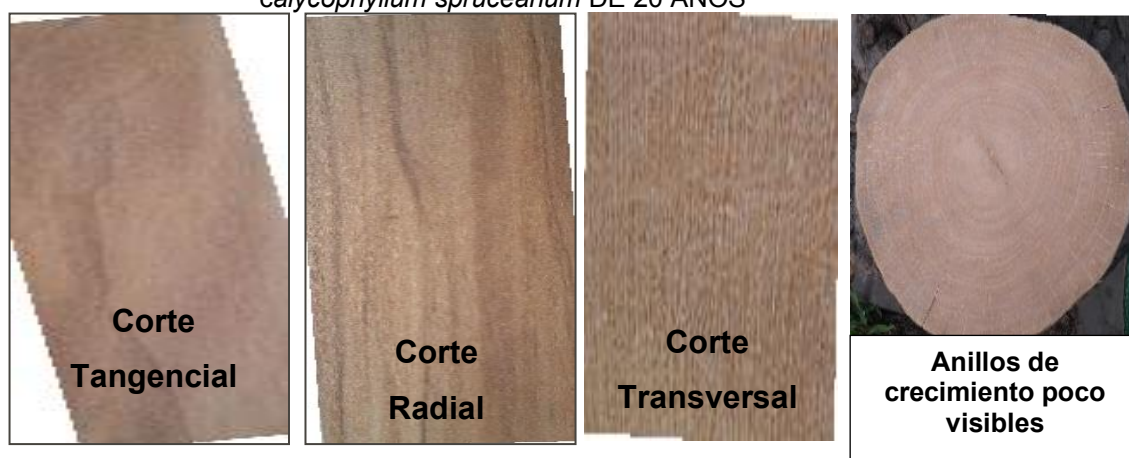
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LA MADERA

4.1.1 Propiedades anatómicas

Las características macroscópicas de la madera de *C. spruceanun* en sus tres planos de corte, esto es, corte tangencial, radial, transversal son las siguientes (FIGURA 16),

FIGURA 16 - CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS MACROSCÓPICAS DE LA MADERA DE *calycophyllum spruceanum* DE 20 AÑOS



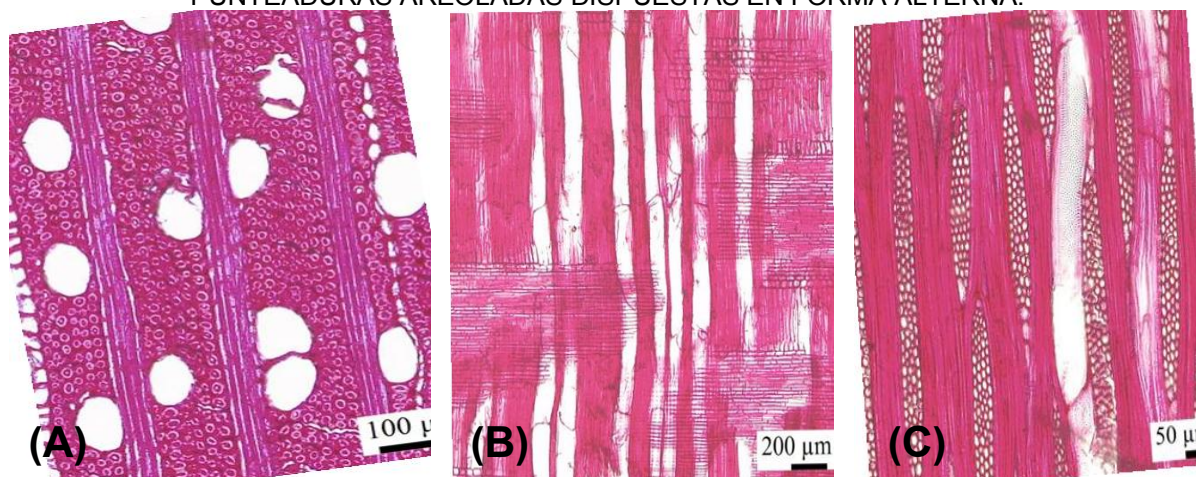
FUENTE: La autora (2020)

- anillos de crecimiento a simple vista poco diferenciados. Con lupa de aumento de 10x, se nota los anillos diferenciados;
- grano recto a ligeramente entrecruzado;
- no se aprecia diferencia entre el duramen y albura, ambos presentan un color amarillo claro: 2,5 Y 8/4;
- olor y sabor no definido y brillo ausente;
- veteado ligeramente visibles;
- en cortes vistas con lupa 10 X, se observa presencia de porosidad difusa con arreglo radial, solitarios y en concentración constante y con ausencia de parénquima y con radios visible. Estas características la sitúan como una madera con

textura fina (Vásquez y Ramirez, 2011), de importancia en el acabado de pisos de madera porque le permite brindar una gran diversidad de elementos y productos que realzan su belleza y aumentan su durabilidad. (PUERTAS et al., 2013)

Los vasos, presentan porosidad difusa, de sección transversal redondeado con tendencia oval, con diámetro tangencial pequeño ($67,9 \mu\text{m}$), con arreglo predominantemente radial, vasos en agrupación solitarios, algunos en múltiplo de dos (FIGURA 17 A y B), presentando una frecuencia media de 28 vasos mm^{-2} . Elementos vasculares de $560,1 \mu\text{m}$ de largo promedio, con placas de perforación simples. Punteaduras intervasculares pequeñas, de forma poligonal, con disposición alterna, con apertura de forma lenticular y disposición incluida. Posee elementos vasculares con presencia de apéndices en sus extremidades (FIGURA 17 A), no observando presencia de tilosis. Parénquima axial ausente. Fibras: libriformes, septadas, con disposición estratificadas, de longitud media ($1626 \mu\text{m}$), de paredes delgadas a espesas ($3,9 \mu\text{m}$) punteaduras notoriamente areoladas. Radios visibles a simple vista en el plano transversal, presentes en número promedio de nueve radios por mm^{-1} , radios heterogéneos y multiseriados tipo II, no estratificados, compuesto por células procumbentes de dos a cuatro líneas marginales de células erectas y cuadradas (FIGURA 17 C), delgados ($34,4 \mu\text{m}$) y longitudinalmente fusionados.

FIGURA 17 - CORTES ANATÓMICOS DE LA *C. spruceanum* A) POROS SOLITARIOS OVALADOS, ALGUNOS MÚLTIPLES RADIALES B) RADIOS HETEROCELULARES CON CELULAS PROCUMBENTES EN EL CENTRO Y ERECTAS EN EL EXTREMO C) VASOS CON PUNTEADURAS AREOLADAS DISPUESTAS EN FORMA ALTERNA.



FUENTE: La autora (2020)

La especie *C. spruceanum* presenta características anatómicas generales similares a lo obtenido por Andrade et al. (2017), Baldin y Marchiori (2015), Acevedo y Kikata (1994), quienes también lo describen con vasos de porosidad difusa, solitarios y múltiples radiales, parénquima axial ausente, vasos con presencia de apéndices en sus extremidades; fibras libriformes, cortas, con paredes delgadas a espesas; radios heterogéneos, presencia de células procumbentes, erectas y cuadradas. También investigaciones sobre las propiedades anatómicas de la familia Rubiaceae concuerdan con la resultados obtenidos para la especie de la presente investigación (BALDIN et al. 2016; LEON, 2011)

La madera investigada está constituida mayoritariamente por fibras, ocupando el 64,1% del volumen de la madera, vasos (13%) y radios (22,5%), esta característica es importante para la producción de pisos de madera porque la mayor cantidad de fibras son indicadores de una buena resistencia mecánica y alta densidad, también puede influenciar en el acabado de los pisos, dependiendo de la orientación de las fibras con respecto al eje del árbol.

En la TABLA 7, se presenta los valores promedios de los elementos leñosos encontrados en los discos de *C. spruceanum*, observándose datos muy homogéneos en el diámetro y espesor de pared de las fibras; número de poros. mm^{-2} y número de radios. Los demás elementos leñosos presentan coeficientes de variación con valores regularmente homogéneos, excepto la altura de radios con datos muy variables, debido a la mayor fuente de variación que sufre la madera y que se encuentra dentro del mismo árbol (KEATING Y BOLZA, 1982). En general, en una plantación de la misma edad, con la misma calidad de sitio y misma área geográfica es de esperar que el tejido xilemático presente un menor coeficiente de variación.

TABLA 7 - VALORES PROMEDIOS DE LOS ELEMENTOS ANATÓMICOS DE *Calycophyllum spruceanum*

Elemento	Medición	Media	CV	Min	Max
Fibras	Longitud (μm)	1626	15.1	1224.6	2090.4
	Diámetro total (μm)	17.4	7.14	15.4	20.20
	Espesor de pared (μm)	3.9	9.1	3.4	5.1
	Diámetro lumen (μm)	9.5	14.5	7.1	12.2
Poros	Diámetro tangencial (μm)	67.9	14.2	51.6	90.9
	Frecuencia ($\text{N}^\circ \cdot \text{mm}^{-2}$)	28	9.4	22.0	31.9
Radios	Altura (μm)	554.0	22.5	398.5	820.0
	Ancho (μm)	34.4	14.5	23.5	46.4
	N° células en altura	32.7	14.6	24.9	46.9
	N° células en ancho	3.4	7.9	3.0	4.0
	Frecuencia ($\text{N}^\circ \cdot \text{mm}^{-1}$)	9.3	9.6	7.8	11.3
Vasos	Longitud (μm)	560.1	11.9	434.7	677.9

FUENTE: La autora (2020)

La *C. spruceanum* proveniente de una plantación de 20 años, presenta fibras de longitud media con paredes delgadas y diámetro angosto, poros pequeños, moderadamente numerosos, de elementos vasculares medianos, altura de radios extremadamente bajos, finos y poco numerosos (IAWA, 1989). En relación a la proporción de fibras, el volumen total del tejido xilemático, la *C. spruceanum* está constituida mayoritariamente por fibras, que la define como una madera de alta masa específica básica, uno de los parámetros más importantes que influye en la resistencia mecánica y con buenas posibilidades para ser usada en la producción de pisos. Sin dejar de mencionar también el aporte de los otros constituyentes celulares como son el número de poros, espesor de pared celular, diámetro de vasos o longitud de fibra que permiten comprender la influencia de estos parámetros con la masa específica básica.

La madera de *C. spruceanum*, presentó fibras con dimensiones promedio de 1.629 μm de longitud en un rango de 2.091 a 1.225. Comparando con estudios de la misma especie se encontró valores mayores a los realizados por Andrade et al. (2017) para una plantación de seis años localizado en el municipio de Rio Branco y por Baldin y Marchiori, (2015) sin información de edad de la madera, quienes reportan valores de longitud de fibra de 1.349,47 μm y 1.441 μm respectivamente, sin embargo con valores de longitud menor a los reportado por Acevedo y Kikata (1994) en maderas proveniente de bosques naturales de la Amazonía Peruana, con longitudes de fibras entre 1.306 a 2.150 μm , con un valor promedio de 1.728 μm . Esta diferencia de longitud de fibra está directamente relacionada con la edad del árbol, tal es el caso de la menor longitud de fibra en una plantación de seis años (ANDRADE et al. 2017) y mayor longitud de fibra en un bosque natural (ACEVEDO Y KIKATA, 1994). Al respecto, Baldin, et al (2016) en estudios realizados a 41 especies de Rubiaceae, encontraron que la variación en longitud de fibras está altamente correlacionada con la edad del árbol.

Para el espesor de la pared de fibras de la *C. spruceanum*, se encontró un valor promedio de 3,9 μm en un rango de 3,4 a 5,1. Estos valores fueron menores a lo reportado por Andrade et al. (2017), Baldín y Marchiori (2015) y Acevedo y Kikata (1994) para la misma especie, con valores de 5,81 μm , 7,0 μm y 6,0 μm , respectivamente. El menor espesor de pared de la madera de *C. spruceanum* investigada comparada con la *C. spruceanum* de menor edad y con mayor espesor de fibra, probablemente se deba al tipo de manejo, ya que esta última pertenece a una plantación experimental bajo ciertos criterios de manejo, en el caso de la madera investigada, a una plantación sin tratamientos silviculturales. Roque y Tomazello Filho (2009), para árboles de *Gmelina arborea* de ocho a doce años de edad encontraron que las dimensiones celulares de los elementos anatómicos son influenciadas por las condiciones de manejo. Winck et al. (2015) en una plantación de *Pinus taeda*, encontraron que la aplicación de un raleo del 50% de la densidad original de la plantación favoreció la obtención de madera con mayor espesor de pared celular y menor ángulo microfibrilar. Para la *C. sprueceanum* de bosques naturales, de mayor

edad y mayor proporción de madera madura, es de esperar un mayor espesor de fibra que la especie en investigación. En cuanto al lumen de las fibras, todas las maderas de *C. spruceanum* que fueron comparadas (Andrade et al., 2017; Baldín y Marchiori, 2015 y Acevedo y Kikata, 1994), presentaron un diámetro angosto con un valor cercano a 10 μm (IAWA, 1989)

Respecto a los elementos vasculares, se encontró un valor medio de longitud de vaso de 560 μm en un rango de 434,7 a 678 μm , diámetro tangencial de poro de 67,9 μm en un rango de 57,6 a 90,9 μm y una frecuencia de vasos de 28,0 μm en un rango de 22,0 a 32,0 μm . Acevedo y Kikata (1994), para bosques naturales, encontraron un valor medio mayor de longitud de fibra (902,5 μm) y diámetro tangencial de poro (92 μm) y menor valor de frecuencia de vasos (19 μm). Andrade et al. (2017) en plantaciones de 6 años, encontraron un valor medio menor de diámetro tangencial de poro (62,4 μm) y mayor de frecuencia de vasos (42,6 μm).

Al respecto, investigaciones realizadas en la región tropical, señalan que los elementos anatómicos de la madera como frecuencia, diámetro y longitud de los elementos vasculares se ven afectados por las condiciones ambientales en donde se desarrollan las especies o por hábitos de crecimiento de las plantas (CARLQUIST, 2001). Para Baldin y Marchiori (2015) las variaciones de densidad y diámetro de vasos se deben a posibles adaptaciones a los diferentes tipos de bosques. Por otro lado, valores de baja frecuencia (menores a 100 vasos. mm^{-2}) generalmente ocurren en las especies de la selva tropical (CARLQUIST, 2001). La *C. spruceanum* de la presente investigación y las de comparación, cumplen lo mencionado por Carlquist (2001) quien además señala que las variaciones entre ellas probablemente se deban a condiciones ambientales tales como clima, factor genético, tipo de leño, así como mayor proporción de madera juvenil en maderas provenientes de plantaciones jóvenes como es el caso de la madera investigada. En general, la variabilidad de la madera está influenciada por diversos factores internos tales como, variación en el cambium en relación a la edad y herencia genética que influye en la forma y crecimiento de los árboles (PANSKIN AND DE ZEEUW, 1980). Adicional a ello, Tusset y Duran (1979) mencionan

otros factores como los climáticos, edafológicos y condiciones silviculturales a los que denomina externos.

4.1.1.1 Variabilidad de las dimensiones anatómicas en sentido longitudinal y radial

En la TABLA 8 se presentan los valores de variabilidad de los elementos anatómicos en sentido longitudinal y radial. La comparación de medias de las características microscópicas de la madera de *C. spruceanum* en los tres niveles de altura del árbol permite apreciar que:

En sentido longitudinal, no se verificó diferencias estadísticas significativas en el diámetro tangencial de poro y espesor de pared; si se verificó diferencias estadísticas significativas en la longitud de fibra, longitud de vasos y frecuencia de poros. Se observa que la longitud de vaso y longitud de fibra, el nivel A₁ fue significativamente mayor que C₁, no así en la frecuencia de poros en donde el nivel A₁ es significativamente menor al nivel B₁ y C₁.

TABLA 8 - VALORES MEDIOS DE LA VARIACIÓN LONGITUDINAL Y RADIAL DE LAS CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS DE *Calycophyllum spruceanum*

Características microscópicas	Longitudinal			Radial			CV experimental
	A ₁	B ₁	C ₁	A ₂	B ₂	C ₂	
Diámetro tangencial poros (μm)	68,9 a	63,8 a	66,2 a	63,8b	67,2ab	72,8 a	14,2
Frecuencia de poros por mm ² (μm)	26,2 b	27,6 a	29,2 a	29, 7a	26,9b	26,6b	9,4
Longitud de vasos (μm)	591,2 a	588,9 a	500,2b	529,9b	561,1ab	589, 3a	11,9
Longitud de fibras (μm)	1.776 a	1695 a	1407b	1508,5 b	1633,7ab	1.735,8 a	15,1
Espesor de pared de fibras(μm)	4,02 a	3,92 a	3,89 a	3,7b	3,94b	4,19 a	9,1

FUENTE: La autora (2020)

Nota: A1: base; B1: DAP; C1: ápice; A2: base; B2: DAP; C2: ápice; CV: coeficiente variación

En sentido radial, el diámetro tangencial de poro, frecuencia de poros, la longitud de vasos, longitud de fibra y espesor de pared de fibras, se observan diferencias estadísticas significativas. Para el diámetro tangencial de poro, longitud de

vaso, longitud de fibra y espesor de pared de fibra, el nivel A_2 es significativamente menor que el nivel C_2 , sin embargo, en la frecuencia de poros el nivel A_2 es significativamente mayor que el nivel C_2 .

No se encontró diferencias estadísticas significativas en las interacciones entre la posición longitudinal y radial, indicando que no existe dependencia entre estos dos factores analizados.

Según lo observado, la longitud de fibra es mayor en la base y va disminuyendo conforme avanza a la parte superior del tronco (ápice), esta variación en el árbol, está relacionada con las diferentes edades formativas del leño (MEDINA et al., 2013), asociados a la presencia de leño juvenil, propio de los árboles jóvenes de los cuales se encuentran en alta proporción en las plantaciones de rápido crecimiento (CASSENS; SERRANO, 2004), sin embargo, el espesor de pared se mantiene a lo largo del fuste. Este comportamiento del espesor de pared indica que la resistencia se va a mantener estable a lo largo del fuste (PANSIN Y DE ZEEUW, 1980).

La frecuencia de vasos mostró un comportamiento inverso al de la longitud de vaso, en sentido longitudinal, comportamiento similar a lo reportado por Gil et al. (2018) y Cardoso et al. (2009), mientras que el diámetro de vaso no cambia con la altura, similar resultado reportó para quebracho colorado, (GIMÉNEZ; LÓPEZ, 2002).

El aumento en el largo de fibra y espesor de pared en sentido médula-corteza es corroborado por estudios realizados por Lima et al. (2011) en la madera de *Tectona grandis*; Tomazello Filho (1985), en *Eucalyptus saligna* y *Eucalyptus. Grandis*, asimismo Bhat et al. (1989) sobre 11 especies latifoliadas tropicales. El diámetro tangencial de poro y la longitud de vaso con valores mayores en la región cercana a la corteza son similares a lo reportado por Portal et al. (2019) al estudiar la variación radial del diámetro de vaso de las especies *Eucalyptus grandis*, y *Amburana cearensis*.

Las diferencias de los elementos vasculares, que responden a la necesidad de agua para garantizar la supervivencia, crecimiento, realizar sus actividades metabólicas y desarrollo del árbol, generan dimensiones variables según la ubicación en sentido radial, haciendo que el diámetro de los vasos cercanos a la corteza sea mayor.

En muchos trabajos realizados sobre variabilidad longitudinal y radial de las fibras y elementos vasculares se han encontrado diferentes patrones de variación, siendo el más frecuente un aumento en la longitud de fibra y elementos de vaso de médula a corteza. Asimismo, en sentido longitudinal, se ha encontrado en general, una disminución de la longitud de fibras y elementos de vaso desde la base al ápice del árbol; como lo obtenido en la presente investigación respecto a la variación radial y longitudinal, y que se atribuye mayormente a la proporción de madera juvenil y madura que tenga una determinada especie.

4.1.1.2 Excentricidad de la médula

Evaluar el efecto de las tensiones de crecimiento del árbol en la madera mediante la excentricidad de la médula, es una forma de evaluar la calidad de la troza durante el procesamiento a tablas y en particular para la presente investigación, su posterior transformación a pisos de madera. El valor medio encontrado en la *C. spruceanum* (4,8%), TABLA 9, es similar a los encontrados por Monteiro et al. (2010) para *Eucalyptus camaldulensis* (4,3%) de 32 años de edad y por Rigg y Moya (2018) de 5% a la altura media del fuste para *Cedrela odorata* de siete años de edad, manejado en un sistemagroforestal. Ferreira et al. (2004), estudiando 10 clones de híbridos de *Eucalyptus* con edades de 7 a 10 años, encontraron excentricidades medias de médula de 5,6 %

TABLA 9 - VALOR MEDIO DE LA EXCENTRICIDAD DE LA MÉDULA EN MADERA DE *Calycophyllum spruceanum* EN ÁRBOLES DE 20 AÑOS.

Características	Promedio	Máximo	Mínimo	CV %
EM (%)	4,8	6,3	2,7	31,7

FUENTE: La autora (2020)

Nota: CV = coeficiente de variación , EM = Excentricidad de médula

Flórez et al. (2014) encontraron valores de excentricidad de la médula de 9% para *Tectona grandis* en árboles de 13 años de edad. Monteiro et al. (2010) para las

especies *Eucalyptus pilularis* de 16,7%, *Eucalyptus urophylla* de 8,4% y *Eucalyptus maculata* 7%, en árboles de 32 años de edad.

Los árboles de la especie en estudio pertenecen a una misma zona con iguales condiciones climáticas y edáficas, sin embargo presentan CV considerado alto con valores de excentricidad de médula mínimos y máximos de 2,7 y 6,3 respectivamente, lo que sugiere un alta variabilidad entre ellos, Flórez et al. (2014) indican que la excentricidad de la médula se relaciona con diversos factores tales como la inclinación del terreno, efecto del viento y factores genéticos.

En general, valores con excentricidad de médula alto sugieren presencia de madera de tensión Ferreyra et al. (2008), Radomski y Ribaski (2010), Simpson y Tenwolde (1999 citado por Florez et al., 2014), tornándose más propensa a los defectos en el despliegue de la troza como deformaciones y grias circulares entre los anillos de crecimiento, además problemas en el procesamiento mecánico por las exigencias en el posicionamiento adecuado de las trozas (GROSSER, 1980; COSTA 2001). El valor medio encontrado en este estudio fue semejante a especies encontradas en la literatura con edades de 2 a 7 años y más bajo que especies entre 13 a 32 años de edad.

Al respecto, la especie en estudio con valores medios de excentricidad de médula de 4,8% son considerados bajos. La clasificación propuesta por Zenid (1990), considera que trozas con hasta 5%, de excentricidad de médula, son consideradas de clase superior. Según la clasificación propuesta por IBDF (1984), la excentricidad de la médula encontrada en la *C. spruceanum*, encaja en el rango de materiales de primera clase.

Esta característica de la especie plantada en Curimaná-Perú, según los resultados obtenidos fue de aproximadamente 4,8 %, lo cual puede ser considerada como baja y permite afirmar que la *C. spruceanum*, presenta escasa madera de reacción, indicando que va a tener un comportamiento favorable durante el procesamiento mecánico de la troza.

4.1.2 Masa específica básica, aparente y contracción de la madera

La determinación de la masa específica básica permite la reproducción de un valor constante, seguro y de utilidad para establecer comparaciones, se define como la relación entre el peso seco al horno y su volumen verde, tiene una gran influencia en sus propiedades mecánicas, una madera con densidad alta es importante para el uso de parquet (AROSTEGUI, 1982). Por otro lado, el aprovechamiento de la madera como materia prima en un proceso industrial que depende en gran parte de sus propiedades físicas, entre ellas las contracciones lineales y volumétricas que son consideradas uno de los parámetros más importantes para determinar técnicamente una correcta aplicación de acuerdo al uso que se le va a proporcionar (MUÑOZ Y MORENO, 2013).

En la TABLA 10 se presentan, los valores medios y coeficientes de variación de la masa específica básica, masa específica aparente al 12% de contenido de humedad y valores de las contracciones de la especie *C. spruceanum*. Los coeficientes de variación de la masa específica básica y aparente se encuentran dentro del rango señalado por Kretschmann et al., (2010). Los coeficientes de variación de las contracciones, se encuentran dentro del rango recomendado por U.S.Department of Agriculture (1974), excepto la variación radial con un mayor valor.

Respecto a la masa específica básica, Aróstegui *et al.* (1980) señalan que esta tiene gran influencia en las propiedades mecánicas, clasifica a las maderas según su masa específica en cinco grupos, correspondiéndole a la *C. spruceanum* el grupo IV ($0,61 - 0,75 \text{ g.cm}^{-3}$), que la define como madera de masa específica alta, característica de gran importancia para usos estructurales, recubrimientos de exteriores, pisos y parquet.

TABLA 10 - VALORES PROMEDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y CONTRACCIONES LINEALES VOLUMÉTRICAS DE *Calycophyllum spruceanum* DE 20 AÑOS

Propiedad	Media	CV (%)	Intervalo de confianza (95 %)	
			L S	L I
Masa específica básica (g.cm^{-3})	0,68	8,5	0,67	0,70
Masa específica aparente 12% CH (g.cm^{-3})	0,84	8,0	0,82	0,85
Contracción tangencial (%)	8,25	11,46	8,04	8,46
Contracción Lineal radial (%)	3,81	22,34	3,62	4,00
Contracción Volumétrica (%)	12,11	10,47	11,83	12,39
T/R	2,16			

FUENTE: La autora (2020)

CV: Coeficiente de variación; LS: Limite superior; LI: Limite inferior; T/R: Relación de contracción

Comparando con otras investigaciones, la madera de *C.spruceanum* presentó valores promedio mayores a la masa específica de algunas especies peruanas como *Cariniana doméstica* ($0,59 \text{ g.cm}^{-3}$), *Ormosia coccinea* ($0,61 \text{ g.cm}^{-3}$), asimismo, semejantes a la masa específica básica de *Mezilaurus itauba* ($0,68 \text{ g.cm}^{-3}$), *Brosimum alicastrum* ($0,68 \text{ g.cm}^{-3}$), *Aspidosperma macrocarpon* ($0,67 \text{ g.cm}^{-3}$) e inferior a *Dipteryx odorata* ($0,87 \text{ g.cm}^{-3}$). Todas ellas usadas en la producción de pisos como machihembrados, parquet tradicional y parquetón (CHAVESTA, 2005).

Asimismo, los valores medios de masa específica básica ($0,68 \text{ g.cm}^{-3}$) y aparente a 12% ($0,84 \text{ g.cm}^{-3}$) de la madera de *C. spruceanum* se encuentran dentro del rango de algunas especies brasileñas catalogadas por la Asociación Nacional de Productores de Pisos de Madera (ANPM) con propiedades similares a las maderas comerciales de ese país.

Los valores medios de la contracción tangencial, radial y volumétrica de la especie, se encuentran dentro del rango señalado por Ananias, (1992). La máxima contracción lineal, se obtuvo en el plano tangencial de 8,25% frente a 3,81 % en el plano radial. Estas diferencias son explicadas por la gran cantidad y ancho de los rayos medulares y a la orientación de las fibrillas en la pared celular y de las fibras (KOLLMANN Y COTÉ, 1968). así mismo la menor contracción en el plano radial,

obedece al papel que desempeñan los radios al restringir los movimientos dimensionales en esa dirección (BOYD, 1974).

La contracción volumétrica presenta un valor medio de 12,11%, que lo clasifica como una madera con estabilidad media (ARÓSTEGUI et al.,1980; PÉREZ,1983), Característica muy importante para conocer el comportamiento de la madera frente al secado y evitar la presencia de grietas, rajaduras y deformaciones que se pueden presentar durante el desarrollo del programa de secado.

El coeficiente de anisotropía, es un índice para distorsiones y alabeos, entre mayor sea, existe mayor probabilidad que ocurra una distorsión o deformación en la pieza de madera debido al cambio de humedad en un proceso de secado o cuando la madera está en servicio (MUÑOZ Y MORENO, 2013). La relación T/R para la madera en estudio fue de 2,16 considerada como madera moderadamente estable, según el criterio de clasificación sobre estabilidad dimensional realizada por Ordoñez et al. (1990). por lo cual se espera que la *C. spruceanum* no tenga mayor tendencia a la presencia de rajaduras y agrietamiento durante el proceso de secado.

Comparando los resultados obtenidos con otras investigaciones para la misma especie, se observa que la contracción tangencial (8,25%), presenta valor medio menor a la reportado por la FAO (2002) quién estableció valores de 9% (Meb: 0,76 g.cm⁻³) y superior a Araújo et al. (2016) con 7,7% (Meb: 0,65 g.cm⁻³) ambos proveniente de rodales naturales. A su vez, superior a Gamez (2009) para una plantación de 16 años con 7,3% (Meb: 0,65 g.cm⁻³) y Sotelo (2006), para una plantación de 39 meses con 7,47% (Meb: 0,59 g.cm⁻³).

Para la contracción radial, este estudio presenta valor medio (3,81%), similar a Gamez (2009) y Sotelo (2006) con 3,8 % y 3,5 % respectivamente e inferior a FAO (2002) y Araújo et al. (2016) con 5% y 5,1% respectivamente. El coeficiente de anisotropía (2,16) presentó valores medios superiores a lo reportado por la FAO (2002) y Araújo et al. (2016) con valores de 1,8 y 1,6 respectivamente, y similares a Gámez (2009) y Sotelo (2006), 2,05 y 2,2 respectivamente.

Las causas de estas diferencias se deberían a un conjunto de factores tales como factores genéticos, de localización, y ambientales. Así mismo, la edad de la madera influye en el incremento de su densidad (Pinto, 2007) que está directamente

relacionada con la contracción (MORESCHI, 2014). La madera madura es considerada una causa de mayor contracción debido a su mayor densidad (Tsoumis, 1991); la madera juvenil tiende a exhibir una contracción transversal menor que la madera madura debido a su menor densidad (BOWYER et al., 2007). Las propiedades de la madera que la hacen diferente a otros materiales se deben a factores como: especie del árbol, clima de la región de origen del árbol, anatomía del tejido leñoso, fisiología del árbol (PANSHIN Y DE ZEEUW, 1980; ARROYO, 1983).

En general, comparando la especie investigada con las proveniente de plantaciones y bosques naturales, los valores de contracción y de estabilidad dimensional se registraron en rangos similares. Sin embargo, presentó menor masa específica que de bosques naturales.

Presumiblemente, las diferencias ambientales entre los sitios producen diferencias en densidad, estructura anatómica, extractos, composición química, y (o) estrés mecánico de la madera, y estos a su vez afectan la contracción (TSOUMIS, 1991).

4.1.3 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas definen el comportamiento, aptitud y capacidad que tiene la madera para resistir fuerzas externas que tienden a deformarlo (RECORD, 1914). Los valores de resistencia tienen gran importancia en las aplicaciones de la madera en la construcción, en la elaboración de muebles y pisos, especialmente en el dimensionado de las diferentes piezas según su resistencia y deformación.

En la TABLA 11, se presentan los valores medios para cada propiedad de resistencia mecánica de la *C. spruceanum*, en ellos se puede observar que obtienen un excelente comportamiento de alto y a muy alto, según la clasificación de las propiedades mecánicas propuesta por Dávalos y Bárcenas (1999b).

TABLA 11 - VALORES MEDIOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE *Calycophyllum spruceanum* OBTENIDAS A 12% DE HUMEDAD

Propiedades	Unidad	Media	CV ¹ (%)	CV ² (%)	Clasificación Dávalos y Bárcenas (1999b)
Compresión paralela a las fibras (MPa)	MORc	54,2	13,4	16	Alto
	MOEc	12248,5	24,5	29	-
Flexión estática (MPa)	MORf	134,9	13,1	16	Muy alto
	MOEf	13052,7	19,9	22	Alto
Cizallamiento (MPa)	Fv	24,3	19,2	14	Muy alto
Dureza Janka (N)	DJ	12547,6	10,1	20	Muy alto

MOR = módulo de rotura; MOE = módulo de elasticidad; Fv= Resistencia al cizallamiento; DJ = Dureza Janka; CV = Coeficiente variación: ¹ = Del presente estudio, ²= Kretschmann, 2010.
FUENTE: La autora (2020)

La variación que presentan las muestras ensayadas, se encuentra dentro del rango señalado por Kretschmann (2010), excepto el cizallamiento con un valor ligeramente mayor, nos estaría indicando que los valores de las propiedades mecánicas ensayadas, no se encuentran muy dispersos respecto a su media.

Los valores promedio encontrados en la orientación radial y tangencial de la dureza Janka, fueron de 12867,97 N Y 12226,70 N, respectivamente, sin diferencia significativa entre ellos ($p = 0,11$), con 95% de confianza, por lo que se consideró la dureza Janka promedio en dirección perpendicular a las fibras de 12547,6. Asimismo, en la resistencia al cizallamiento, los valores encontrados en la orientación radial y tangencial fueron de 23,60 MPa y 25,08 MPa, respectivamente, sin diferencia significativa entre ellos ($p = 0,18$), con 95% de confianza, por lo que se determinó el esfuerzo máximo cortante promedio de 24,3 MPa

La respuesta de la madera en estudio, en relación al esfuerzo de compresión paralela a las fibras indica que es altamente resistente cuando es sometida a este tipo de esfuerzos. Fuentes (1998) señala que es muy importante tomar en cuenta esta propiedad, si las maderas van ser usadas como soportes y cuyas cargas están dispuestas en dirección paralela a la fibra. Sotelo (2006) en estudios similares con la

C. spruceanum de 39 meses de edad, encontró para el módulo de elasticidad valores de 13288 MPa, para el módulo de rotura de 50,1 MPa. JUNAC (1981) de madera proveniente de bosques naturales, encontró para el módulo de rotura valores de 64,7 MPa. Entre los estudios investigados, se puede notar que los promedios mencionados son semejantes a los determinados en el presente estudio.

Respecto a la resistencia a la flexión estática, los valores muy altos de Módulo de elasticidad (MOE) y altos del módulo de rotura (MOR), sugieren que la madera de *C. spruceanum* es altamente rígida y puede soportar grandes esfuerzos cuando es sometida a flexión. JUNAC (1981) para la misma especie encontró valores del módulo de elasticidad (MOE) de 15890 MPa, módulo de rotura (MOR) de 128,7 MPa. Los resultados del módulo de elasticidad (MOE) de la presente investigación son similares a JUNAC (1981) y mayores al módulo de rotura (MOR) de JUNAC (1981).

Los valores de resistencia al cizallamiento clasificados de muy altos, sugiere que la madera de *C. spruceanum* es muy resistente a esfuerzos que la corten en dirección paralela a su eje. Pantigoso (2009) en una plantación de 9 años, encontró valores para la misma especie de 11,89 MPa y JUNAC (1881) de 17,46 MPa, todos ellos con valores menores a la presente investigación.

La resistencia a la dureza es una de las propiedades mecánicas más importantes de la madera si va hacer utilizada en la elaboración de pisos, cubiertas de mesas, y cualquier superficie expuesta al desgaste mecánico (FUENTES, 1998). La *C. spruceanum* de la presente investigación, obtuvo valores muy altos de resistencia a la dureza Janka (12547,6 N) por lo que se puede inferir que va a tener un buen comportamiento como madera destinada para la producción de pisos. Pantigoso (2009) para la misma especie obtuvo un valor de 7230 N, valor menor a la presente investigación; sin embargo, por debajo de JUNAC, (1981) para madera proveniente de bosques naturales, quien obtuvo un valor de 13474,3 N. Los menores valores de las plantaciones de Pantigoso (2009) y la presente investigación, se puede atribuir a la menor edad de la madera de plantaciones de 9 y 20 años respectivamente en relación a la procedente de bosques naturales.

En general, de acuerdo a las propiedades mecánicas evaluadas, la madera de *C. spruceanum* se caracteriza por tener una dureza y resistencia al cizallamiento muy

alta; resistencia a la flexión y compresión paralela a las fibras alta, según la clasificación propuesta por Davalos y Barcenas (1999b) al 12 % de contenido de humedad. Al respecto, Echenique y Plumptre, (1994); Sibille, 2006, señalan que estos valores se encuentran en el rango aceptable para ser utilizados en estructuras pesadas vigas, viguetas, columnas, machimbrados, carrocerías, ebanistería, puertas ventanas, molduras, tarugo, techos, muros, pisos y parquet. Resaltando de manera muy especial la propiedad de dureza Janka como parámetro muy importante para la elaboración de pisos, motivo de la presente investigación.

En la TABLA 12, se presentan los valores medios de las propiedades mecánicas de la madera de *C. spruceanum* comparada con otras especies, muy utilizadas en Perú en la fabricación de pisos de madera y la especie *Hymenaea courbaril*, muy utilizada en Brasil como base en la fabricación de pisos.

TABLA 12 - VALORES MEDIOS A 12% DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA *Calycophyllum spruceanum* COMPARADA CON ESPECIES TROPICALES PARA PISOS EN PERÚ Y BRASIL

Propiedades	<i>Calycophyllum Spruceanum</i> *	<i>Dipteryx. odorata</i>	<i>Myroxylon peruiferum</i>	<i>Aspidosperma. Macrocarpo)</i>	<i>Hymenaea courbaril</i>
MEB (g cm ⁻³)	0,68	0,87 ¹	0,78 ²	0,67 ²	0,80 ³
MORc (MPa)	54,22	65,90 ¹	76,79 ²	66,49 ²	97,87 ³
MOEc (MPa)	12.248,51	-	-	-	17.691,00 ³
MOR f (MPa)	134,94	126,11 ¹	161,61 ²	111,99 ²	170,76 ³
MOEf (MPa)	13.052,65	19.711,36	18.240,40 ²	14.219,60 ²	14.837,00 ⁴
Fv (MPa)	25,06	14,21 ¹	18,83 ²	13,83 ²	17,5 ⁴
Dureza J (N)	12.547,60	13.268,40 ¹	1.2542,71 ²	8.688,90 ²	11.189,39 ⁴

FUENTE: * Presente estudio ¹ = Acevedo (2011); ² = JUNAC 1981; ³ = ANPM, 2015; ⁴ = IPT, 2015.

NOTA: * = proveniente de una plantación de 20 años; MEB: masa específica básica; MORc = resistencia a la compresión paralela a las fibras; MOEc = módulo de elasticidad en compresión paralela a las fibras; MORf = Resistencia a la flexión estática; MOEf: módulo de elasticidad en flexión estática; Fv = resistencia al cizallamiento; J = Janka; MPa = Megapascal; N = Newton

Los valores de resistencia a la compresión paralela a las fibras (MOR_c) y su correspondiente módulo de elasticidad (ME_c), encontrados en la madera de *C. spruceanum* fueron menores a las especies *D. Odorata*, *M. peruiferum*, *A. macrocarpon* y *H. courbaril* y menor a *H. courbaril* en lo relacionado al módulo de elasticidad (MOE_c). Una menor resistencia de la madera a la compresión paralela a las fibras puede limitar su uso como soportes cuando las cargas están dispuestas en dirección paralela a la fibra. Esta característica está directamente relacionada con la masa específica básica de la madera, composición del leño y estructura anatómica.

Los valores de resistencia a la flexión estática (MOR_f) y su correspondiente módulo de elasticidad (MOE_f), encontrados en la *C. spruceanum* fueron inferiores a los encontrados en las especies *M. peruiferum* y *H. courbaril* y mayor a las especies *D. Odorata*, y *A. Macrocarpom*. Además, presentó valores menores a las especies *D. Odorata*, *M. peruiferum*, *A. macrocarpon* y *H. courbaril*, en lo relacionado al módulo de elasticidad (MOE_f). A pesar de la superioridad de la mayoría de especies de comparación, los valores de resistencia a la flexión estática y módulo de elasticidad de la *C. spruceanum* se encuentran en el rango de clasificación de altos y muy altos valores de resistencia (TABLA 11). También estas características pueden estar influenciadas por la menor masa específica básica, de la *C. spruceanum*, composición del leño y características anatómicas de la madera. La resistencia a la flexión estática (MOR_f) y el módulo de elasticidad (MOE_f), son dos parámetros de gran importancia para la caracterización tecnológica de la madera, siendo que ambos dan una buena aproximación de resistencia del material, constituyéndose como parámetros de gran aplicación en la clasificación de la madera (SILVA, 2005).

El valor obtenido de resistencia al cizallamiento (F_v), de la *C. spruceanum* fue superior a *D. Odorata*, *M. peruiferum*, *A. macrocarpon* y *H. courbaril*. Cabe señalar que esta propiedad permite indicar la capacidad que tiene la madera para resistir esfuerzos que la corten en dirección paralela a su eje, por lo que está siendo también utilizada en productos que están sometidos a fuerzas de cizallamiento como la producción de muebles y ensambles.

La dureza Janka, de la madera de *C. spruceanum* en dirección perpendicular a las fibras, también fue superior a *M. peruiferum*, *A. macrocarpon* y *H. courbaril* y

menor a *D. Odorata*. Esta propiedad es considerada una característica de gran importancia que define la calidad de madera para la producción de pisos, cubierta de mesas y cualquier superficie expuesta al desgaste mecánico, por lo que permite afirmar que la *Calycophyllum spruceanum*, por sus características de dureza, clasificada según Dávalos y Bárcenas (1999b) de muy alta resistencia, se vislumbra como una especie proveniente de plantaciones con un gran potencial para ser usada en la fabricación de pisos.

Acevedo (2011), en las investigaciones realizadas sobre características tecnológicos de maderas peruanas, incluye la dureza en condición verde de las especies tropicales provenientes de bosques naturales que son muy utilizadas en la fabricación de pisos en el Perú. En la TABLA 13, se observa la dureza Janka de las maderas tropicales mencionadas, cuyos resultados fueron clasificados según la tabla de clasificación propuesta por Dávalos y Bárcenas (1998a), para maderas en condición verde. Al ser comparada la *C. spruceanum* de la presente investigación, los resultados fueron muy satisfactorios por estar en el rango de maderas consideradas de muy alta dureza. Esta es una característica de resistencia mecánica de la madera muy importante porque va a definir la calidad de la materia prima para ser usada en la fabricación de pisos y que junto a su masa específica, características anatómicas y químicas van a influir directamente en los ensayos de simulación de pisos en servicio.

TABLA 13 - DUREZA JANKA DE ALGUNAS ESPECIES TROPICALES PERUANAS, UTILIZADAS EN LA FABRICACIÓN DE PISOS

Especies	CH	MEB (g.cm ⁻³)	Dureza Janka (N)	Clasificación ²
Ana caspi (<i>Apuleia Apuleia leiocarpa</i>)	V	0,70	7.038,2	Muy alto
Capirona (<i>Calycophyllum spruceanum</i>)	V	0,76	4.167,8	Alto
Estoraque (<i>Myroxylon balsamun</i>)	V	0,77	10.189,1	Muy alto
Huayruro (<i>Ormosia coccinea</i> var.)	V	0,61	6.374,3	Muy alto
Pumaquiro (<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart.)	V	0,67	7237,3	Muy alto
Quina Quina (<i>Pouteria torta</i>)	V	0,74	7.796,3	Muy alto
Quinilla colorada (<i>Malnikara bidentata</i>)	V	0,87	10.689,3	Muy alto
Shihuahuaco (<i>Dipteryx. Odorata</i>)	V	0,87	13.268,4	Muy alto
Tahuari (<i>Tabebuia capitata</i>)	V	0,81	11.316,9	Muy alto
Capirona (<i>Calycophyllum spruceanum</i>)	12%	0,68	12.547,6	Muy alto ³

FUENTE: Acevedo (2011).

NOTA: CH = contenido de humedad; MEB = Masa específica básica; V= Condición verde ¹= Según Dávalos y Barcenás 1998; ³ = Según Dávalos y Bárcenas (1999).

La norma NBR 7190 (ABNT, 1997) establece categorías de calidad que están relacionadas a la resistencia y masa específica de la madera. Para poder incorporar los valores de resistencia de la madera de *C. spruceanum* y clasificarla en la clase que le corresponda, es necesario transformar los valores medios de resistencia a valores característicos, según lo recomendado por la NBR 7190, que define las condiciones mínimas de resistencia a la rigidez y cizallamiento de las dicotiledóneas para ser consideradas como maderas de calidad en la construcción de estructuras de madera (TABLA 1).

En TABLA 14 se presentan los valores de resistencia a la rigidez características de la madera de *C. spruceanum*. Comparando la calificación sugerida por la NBR 7190 (ABNT,1997) de la TABLA 1, la *C. spruceanum* se encuentra en la clase C30 para resistencia a la compresión paralela a las fibras (F_{cok}), que la califica como madera de buena resistencia media a la compresión; C20 para módulo de elasticidad medio, obtenido en el ensayo de compresión paralela a las fibras($E_{C0.m}$), que la califica como madera con rigidez media, que podría ser una limitación para aquellos productos maderables que necesiten tener mayor rigidez, por ejemplo vigas de techo y de suelo unidas a los postes con pernos o unidas con parrillas de punto y

de pernos; C60 para resistencia al cizallamiento (F_{vok}), que confirma la capacidad que tiene la madera para resistir esfuerzos que la corten en dirección paralela a su eje, asimismo que pueda tener un buen comportamiento para ser usadas en ensambles, resaltando su aptitud en la industria de muebles; y para la masa específica básica media (ME_{bm}) que la califica en la clase C30.

TABLA 14 - RESULTADOS MEDIOS OBTENIDOS PARA LAS PROPIEDADES MECÁNICAS COMPRESION PARALELA A LAS FIBRAS Y CIZALLAMIENTO DE LA MADERA DE *Calycophyllum spruceanum* DE UNA PLANTACIÓN

Propiedades	Unidad	Media	CV (%)	Categoría
Compresión paralela a las fibras	F_{Cok} (MPa)	34,83	13,4	C30
	$E_{Co, m}$ (MPa)	12.248,5	24,5	C20
Cizallamiento	F_{vk} (MPa)	19,96	19,2	C60
Masa específica básica media	$\rho_{bas, m}$ (g.cm ⁻³)	0,68	8,5	C30

F_{Cok} = resistencia a la compresión paralela a las fibras característico; $E_{Co, m}$ = Módulo de elasticidad medio, obtenido en el ensayo de compresión paralelo a las fibras; F_{vk} = Resistencia al cizallamiento característico; CV = coeficiente de variación; $\rho_{bas, m}$ = Masa específica básica media.

4.1.4 Propiedades químicas

En la Tabla 15 se presentan los resultados de los componentes químicos de la *C. spruceanum*, en ella se observa que los porcentajes de celulosa y hemicelulosa se encuentran dentro del rango señalado por Foelkel (1977) y Klock (2013) para dicotiledóneas, sin embargo, la lignina y extractivos, se encuentran ligeramente por encima de este rango.

TABLA 15 - COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DE *Calycophyllum spruceanum*, DE 20 AÑOS.

Componente químico	Valor promedio (%)	CV (%)	Rangos (%)	
			(Foelkel 1977)	(Klock (2013))
Holocelulosa	65,9	1,99		
Celulosa	41,98	0,98	40 - 45	45±2
Hemicelulosa	23,91	4,65	20 -30	30±5
Lignina	25,31	2,18	18 - 25	20±4
Extractivos totales	8,04	18,7	3 - 8	3±2
Cenizas	0,75	6,87	-	
Sílice	0,12	19,39	-	
pH	6,36	0,42	-	

NOTA: CV = coeficiente de variación

Andrade (2016) para madera de *C. spruceanum* de 6 años, encontró una composición de 30,93% para lignina, 7,79% para extractivos y 0,66 % para cenizas. Por otro lado, Sibille (2006) para maderas de bosques naturales de la misma especie encontró valores de 59,71% para celulosa, 18,6% para hemicelulosas y 0,14% para sílice. Como se puede observar, los valores promedio de extractivos encontrados en el presente estudio (8,04%), son similares a lo reportado por Andrade (2016); los valores promedio de Hemicelulosa (23,91%) y cenizas (0,75%) son mayores a lo reportado por Sibille (2006) y los valores promedio de celulosa (41,98%), y lignina (25,31%), son menores a lo reportado por Andrade (2016) y Sibille (2006), respectivamente. La madera juvenil tiene menos celulosa, más hemicelulosas y lignina en comparación con la madera madura, además hay un aumento gradual de celulosa a medida que las células maduran y una disminución gradual del contenido de hemicelulosa (Rowell et al., 2012), como es el caso de las *C. spruceanum* de 6 años (Andrade, 2016), de bosques naturales (Sibille, 2006) y de la presente investigación que proviene de una plantación de 20 años de edad. En general, estos diferentes resultados indican la variabilidad de la madera asociada a factores como la edad, localización geográfica y la carga genética a pesar de ser de la misma especie.

Sin embargo, el contenido de lignina encontrado en el presente estudio se encuentra en el rango superior de lo indicado por Foelkel (1977) y Klock (2013), para madera de latifoliadas, esto va a contribuir a mejorar el comportamiento dimensional de la madera ante los cambios de humedad. Cabe señalar, que el contenido de lignina tiene una relación negativa con el cambio dimensional, a mayor porcentaje de lignina menor es el cambio dimensional (BARCENAS Y DAVALOS, 1999).

En cuanto a los extractivos, *C. spruceanum* presenta un buen desempeño para la producción de pisos, dado que los valores de extractivos se encuentran en el rango superior para maderas latifoliadas (FOELKEL, 1977; KLOCK, 2013). Estos componentes contribuyen con el aumento de la masa específica, aumento de la dureza, disminución de las contracciones y mejoran la durabilidad natural de la madera.

Respecto al contenido de sílice (0,12%), se encontró semejante al valor reportado por Sibille (2006) con un valor medio de 0,14%, considerado muy bajo, generalmente una madera puede ser abrasiva cuando sus valores de sílice superan el 0,5% (SIBILLE, 2006). Este bajo contenido de sílice nos indica que, durante el procesamiento de transformación de la madera para la elaboración de pisos, los elementos de corte no van hacer afectados.

En relación al pH, la madera de *C. spruceanum* del presente estudio, es ligeramente ácido. Esta característica influye principalmente en el proceso de fraguado del adhesivo, en uniones encoladas de madera, generalmente a menor pH menor tiempo de fraguado. El pH ligeramente ácido de la *C. spruceanum* le confiere la característica de un fraguado rápido. Albin (1975) señala que el pH puede influir en la fijación y/o adhesión de las lacas y barnices sobre la superficie, en la coloración de algunas maderas expuestas a la radiación solar y el fraguado de colas y adhesivos en madera sólida o en forma de chapas o partículas para la producción de tableros.

En la TABLA 16 se compara los componentes químicos de la *C. spruceanum* con tres especies, *Dipteryx odorata* (Shihuaco), *Hymenaea courbaril* (Jatobá) investigadas por Santana y Okino (2007) muy conocidas por su excelente calidad en la producción de pisos y por *Eucalyptus urophylla*, estudiada por Lima et al. (2007) que desde el punto de vista comercial es una de las especies más plantadas en el

mundo y, dependiendo del uso final, puede ser empleada en pulpa, energía o aserrío. Como se puede observar el contenido de holocelulosa de la *C. spruceanum* es menor a *E. urophylla*, con un contenido de celulosa menor que *D. odorata* y *E. urophylla* pero mayor a *H. courbaril*, y con un contenido de hemicelulosas semejantes a *H. courbaril* pero mayores a *D. odorata* y *E. urophylla*. Asimismo, presenta un menor contenido de lignina que a *D. odorata* y *H. courbaril* pero mayor que *E. urophylla*.

TABLA 16 - COMPOSICIÓN QUÍMICA PROXIMAL DE LA *Calycophyllum spruceanum* DE UNA PLANTACIÓN COMPARADA CON OTRAS ESPECIES MADERABLES

Constituyentes	<i>Calycophyllum Spruceanum</i>	<i>Dipteryx odorata</i> ¹	<i>Himeneae coubaril</i> ¹	<i>Eucalyptus urophylla</i> ²
Holocelulosa (%)	69,34	-	-	71,6
Celulosa (%)	43,48	48,4	42,8	52,7
Hemicelulosa (%)	25,85	17,8	25,8	18,9
Lignina insoluble (%)	26,44	32,7	30,3	23,6
Lignina soluble (%)	4,23**	1,1	1,1	4,8
Total	100	100	100	100
Extractivos (%)	8,04	9,7	8,5	-
Cenizas (%)	0,82	0,6	0,3	-

FUENTE: La autora (2020)

¹ = Santana y Arakaki (2007); ² = Lima et al. (2007); * Valores reajustados por motivo de comparación;

** = (100-(Holocelulosa + lignina insoluble))

Respecto al contenido de extractivos, de la *C. spruceanum* presenta valores semejantes a *H. coubaril* y menor a *D. odorata*. Sin embargo, el contenido de cenizas es mayor a *D. odorata* y *H. coubaril*.

Klock et al. (2013) indican que las cantidades de extractivos, pueden variar por las condiciones de crecimiento y edad del árbol, así como de la estructura anatómica de la madera. Por otro lado, señala que el porcentaje de cenizas están entre 0,2 % y 0,5% para el caso de maderas de zonas templada y frecuentemente valores más altos pueden ser encontrados en maderas tropicales.

4.2 ENSAYOS DE SIMULACIÓN DE PISOS EN SERVICIO

4.2.1 Masa específica básica y Dureza Janka

En la TABLA 17 se presenta los valores medios de la masa específica básica y dureza Janka de la madera cerca a la médula y madera cerca a la corteza. Estas propiedades de la madera son consideradas como características importantes para determinar la calidad de madera destinada para la producción de pisos de madera (MARCHESAN, 2016). La masa específica básica es utilizada como parámetro de calidad de maderas por estar correlacionadas con diversas características y propiedades de uso común. La dureza es fundamental en el revestimiento de pisos, pues una mayor o menor dureza dependerá en gran medida su comportamiento y vida útil de instalación (MARTINS, 2008).

TABLA 17 - MASA ESPECIFICA BÁSICA Y DUREZA JANKA DE LA MADERA CERCA A LA MÉDULA Y CERCA A LA CORTEZA DE *Calycophyllum. spruceanum* DE UNA PLANTACIÓN

Madera	Masa específica básica (g/cm ⁻³)	Dureza Janka (N)
Cerca a la médula	0,673 a (6,18)	9.093,0 a (13,14)
Cerca a la corteza	0,716 b (2,69)	10.882,0 b (8,15)
Promedio general	0,69	9.988,0
F	30,61**	50,57**

FUENTE: La autora (2020)

Nota: El valor en paréntesis indica el coeficiente de variación; medias seguidas de la misma letra minúscula en la columna, no difieren entre si; ** = significativo al 1% de significancia.

También se puede observar en la TABLA 17, que tanto la masa específica básica y dureza Janka de la madera cerca a la médula y madera cerca a la corteza difieren significativamente entre si al 99% de probabilidad de confianza.

Por otro lado, la masa específica básica y dureza Janka, cerca a la médula, ambos presentaron valores significativamente menores que la madera cerca a la corteza, contrario a lo señalado por muchos investigadores que encontraron valores mayores cerca a la médula. Al respecto, los cambios de peso específico a través de la sección transversal del tronco pueden clasificarse de varias formas, se incrementa de la médula hacia el exterior o muestra una tendencia a disminuir hacia la corteza; estos

patrones de variación se pueden clasificar dentro de cuatro tipos. La *C. spruceanum* de la presente investigación coincide con el tipo I: La masa específica aumenta desde la médula hasta la corteza (PANSHING Y DE ZEUS, 1980). Se debe notar que, a pesar de la variación interna (6,9%) en la masa específica básica y por tanto en la Dureza Janka (16,4%), los resultados medios están clasificados como valores de alta y muy alta Masa específica básica y dureza Janka, respectivamente (AROSTEGUI et al., 1980).

La relación masa específica básica y dureza Janka aumentan o disminuyen en relación directa. Cuando la masa específica básica aumenta, la resistencia mecánica también lo hace, salvo que se encuentren diferencias anatómicas o contenido de extractivos que puedan alterar la relación directamente proporcional entre la densidad y resistencia mecánica (ROCHA,1994).

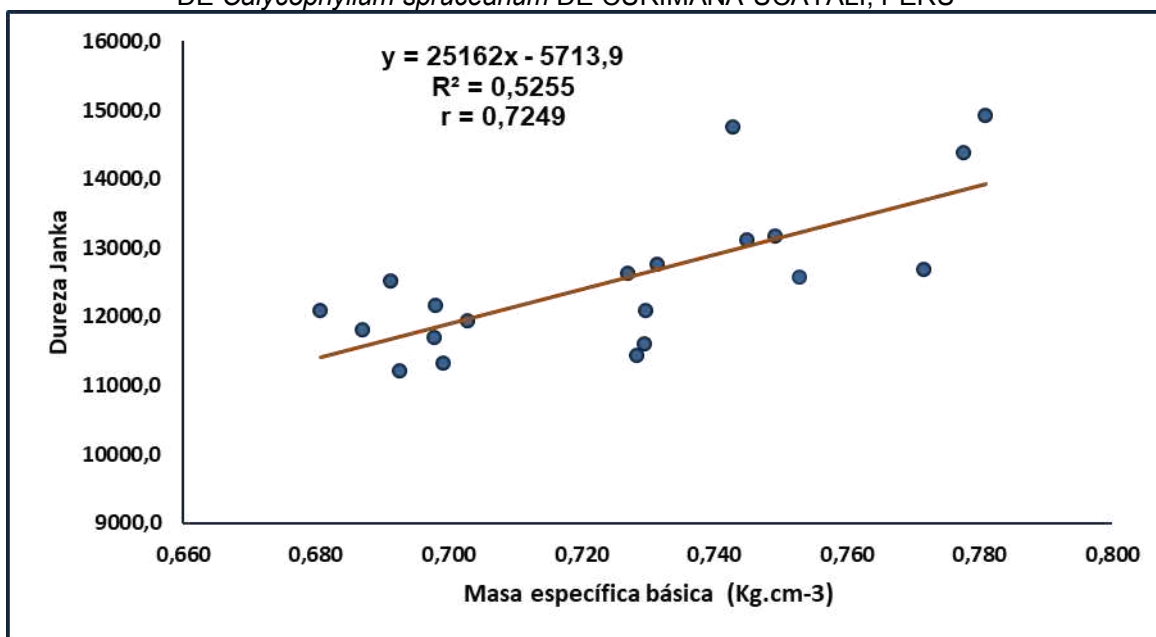
Los valores obtenidos en la TABLA 17, serán utilizados para reforzar los resultados de los ensayos de simulación de pisos de madera en servicios. Maderas más densas son más resistentes y más utilizadas para pisos, teniendo en cuenta que la masa específica básica se relaciona en forma directa con la dureza (Flórez et al., 2015) sin dejar de considerar también a las contracciones de la madera, adicionalmente se pueden considerar aspectos estéticos y tendencias de moda (GALINA et al., 2013)

Comparando datos de la masa específica básica de la TABLA 10 ($0,68 \text{ g.cm}^{-3}$) en la que no hubo separación de madera cerca a la médula y madera cerca a la corteza, se observa que, la madera cerca a la corteza ($0,72 \text{ g.cm}^{-3}$) presenta un valor superior y la madera cerca a la médula ($0,67 \text{ g.cm}^{-3}$) un valor más próximo al promedio. Por lo que es posible afirmar que la madera de *C. spruceanum* presenta una mayor proporción de madera cerca a la médula.

En la FIGURA 18 se puede observar que entre la masa específica básica y la dureza Janka existe una correlación positiva de moderada a intensa, pudiéndose concluir que existe una relación directa entre ellos, es decir, a mayor masa específica básica de la madera mayor dureza, reflejado en un coeficiente de correlación de Pearson (r) de 0,7249 y un coeficiente de determinación de 0,5255, nos dice que: El

52, 55 % de la variación que sufre la dureza Janka, se debe a la variación de la masa específica básica, el 47, 45 se deben a otras variables que no están explicadas en este modelo y estaría relacionado a la variabilidad de la madera debido a sus otros constituyentes.

FIGURA 18 - RELACIÓN ENTRE MASA ESPECÍFICA BÁSICA Y DUREZA JANKA DE LA MADERA DE *Calycophyllum spruceanum* DE CURIMANÁ-UCAYALI, PERÚ



FUENTE: La autora (2020)

4.2.2 Ensayo de carga rodante

En la TABLA 18 se presentan los valores medios de depresión ocasionados por el arrastre de carga rodante de 890 N en cada grupo de 10, 25 a 50 viajes, en donde cada viaje representa uno de ida y vuelta. Así mismo los valores medios de madera cerca a la corteza sin acabado y madera cerca a la corteza con acabado.

Comparando por separado los valores medios de depresión, se observa en la TABLA 18, que tanto los valores medios de la madera cerca a la médula y cerca de la corteza, se van incrementando significativamente conforme aumenta el número de viajes en el tiempo. En la madera cerca médula sin acabado el incremento del viaje 10 a 25 no fue significativo, pero si del viaje 25 a 50. En la madera cerca a la médula con

acabado, el incremento fue significativo del viaje 10 a 25. La madera cerca a la corteza sin acabado se incrementó significativamente hasta el viaje 25, en cambio la madera cerca a la corteza con acabado registró un incremento significativo desde el viaje 10 hasta el viaje 50. En general el aumento de la depresión conforme se incrementa el número de viajes, se debe al efecto de compresión de la carga dinámica aplicada a la madera en sentido normal a las fibras, provocando una compactación de ellas (FLORÉZ et al, 2015).

TABLA 18 - VALORES MEDIOS DE DEPRESIÓN ORIGINADA POR LA CARGA RODANTE DE 890 N EN MADERA DE *Calycophyllum spruceanum* DE UNA PLANTACIÓN

Pisos	Medidas de depresión (mm)		
	10 viajes	25 viajes	50 viajes
Cerca a la médula (Me)			
Sin acabado	0,081a	0,101a	0,132b
	(19,01)	(34,13)	(34,61)
Con acabado	0,089a	0,125b	0,147b
	(22,29)	(33,22)	(33,25)
Cerca a la corteza (Co)			
Sin acabado	0,039a	0,064b	0,068b
	(26,15)	(26,48)	(23,04)
Con acabado	0,0410a	0,060b	0,071c
	(27,47)	(26,82)	(20,20)
T ^{Me}	-1,64 ^{ns}	-3,16*	-1,34 ^{ns}
T ^{Co}	-0,53 ^{ns}	1,32 ^{ns}	-0,82 ^{ns}

FUENTE: La autora (2020)

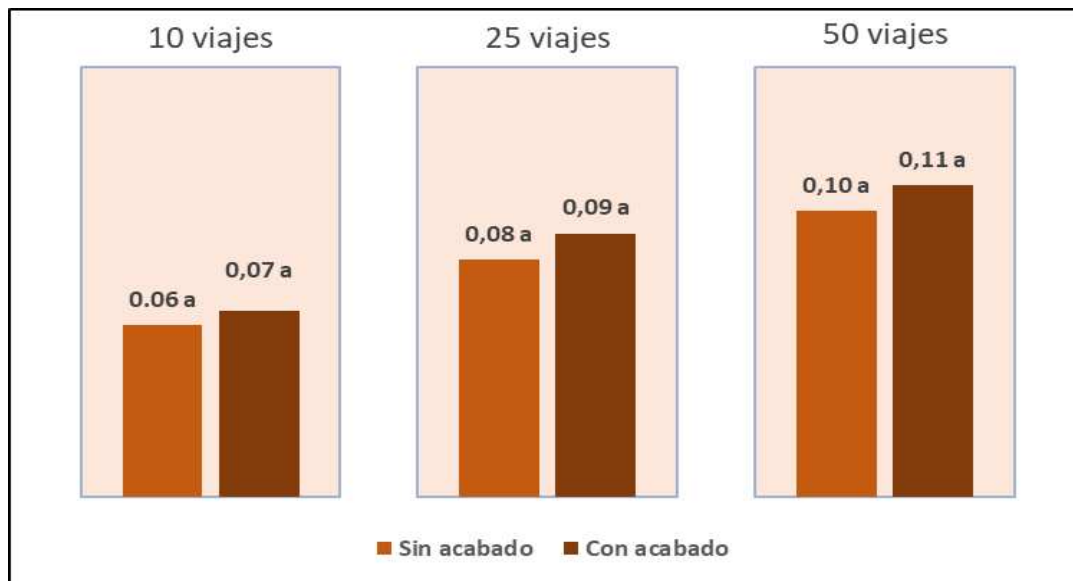
Nota: el valor entre paréntesis indica el coeficiente de variación. T^{Me} =compara medias en la columna cerca a la médula sin acabado y con acabado; T^{Co} = compara medias en la columna cerca a la corteza con acabado y sin acabado, a 5% de significancia por la prueba t de Student; * = Significativo; ^{ns} = no significativo; medias seguidas de por lo menos en una letra en la fila, no difieren entre sí, a 5% de significancia, por la prueba de tukey.

También se puede observar que los menores valores de depresión los obtiene la madera cerca a la corteza, confirmando la relación directa con la masa específica básica y la dureza obtenida en la presente investigación.

La madera cerca a la corteza para todos los casos presentó un mejor desempeño, reflejado en menores depresiones. Este resultado probablemente esté relacionado con su masa específica básica y dureza Janka, ambas propiedades presentan mayores valores en la madera cerca a la corteza (TABLA 17).

En la FIGURA 19 se compara los valores medios de depresión en la madera con acabado (cerca a la médula y cerca corteza) y madera sin acabado (cerca a la médula y cerca a la corteza) en relación a los 10, 25 y 50 viajes. Para los tres casos, en la madera con acabado, se nota un ligero incremento de depresión de 14,3%, 11,1% y 9,1 % respectivamente. Sin embargo, en ningún viaje difieren estadísticamente para un nivel de confianza del 95% entre madera con acabado y sin acabado. El resultado es esperado pues los barnices son productos que aportan el acabado a los pisos de madera, y también pueden proporcionar resistencia a la fricción (Galina et al., 2013), pero no aumentar la resistencia, disminuyendo la depresión.

FIGURA 19 - VALORES MEDIOS DE DEPRESIÓN EN MADERA DE *Calycophyllum spruceanum* CON ACABADO Y SIN ACABADO PROVOCADO POR LA CARGA RODANTE DE 890N.



FUENTE: La autora (2020)

NOTA: Medias seguidas por una misma letra, no difieren entre si a 5% de significancia, por la prueba de Tukey

Para comparar con estudios similares se utilizará como parámetro la media general obtenida para 50 viajes (0,11 mm).

Los valores medios de depresión encontrados de 0,11 mm, fue inferior a lo relatado por otros autores. Martins et al. (2013), obtuvieron valores medios equivalentes a 0,154 mm; 0,128 mm y 0,190 mm para maderas de *Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus microcorys* y *Corymbia maculata* respectivamente, de 22, 32 y 32 años de edad, con valores medios de masa específica básica de 0,805 g.cm⁻³; 0,795 g.cm⁻³ y 0,740 g.cm⁻³ respectivamente.

Santos (2008), en estudios realizados en clones de *E. camaldulensis* de 11 años de edad y *E. Urophylla* de 10 años de edad, encontró valores medios de depresión de 0,276 mm (0,576 g.cm⁻³) y 0,471 mm (0,615 g.cm⁻³).

Este mejor desempeño de la madera investigada respecto a las maderas estudiadas por Martins (2008) con mayor edad y mayor masa específica y la madera de Santos (2008) con menor edad y menor masa específica, es probable que se deba a factores genéticos, climatológicos o de altitud para el primer caso, así como la mayor edad y masa específica básica de la *C. spruceanum* para el segundo caso. Por otro lado, la madera investigada presenta un contenido promedio de lignina con valores por encima del rango superior de lo señalado por Foelkel (1977) y Klock (2013) señalado en la TABLA 15, y que es un componente químico que también contribuye a dar rigidez y dureza a la madera. Asimismo, las fibras de la *C. spruceanum* están ocupando el 64,1 % del volumen de la madera, propiedad directamente relacionada con la pared celular, considerada como una característica muy importante para explicar la densidad y dureza y por tanto su mejor desempeño.

Oliveira (2016) en investigaciones realizadas con las especies de ipê (*Tabebuia impetiginosa*), cumarú (*Dipteryx odorata*), sucupira (*Bowdichia nitida*) y amêndola (*Mimosa scabrella*), encontró medias de depresión de 0,105 mm, 0,110 mm, 0,205 mm y 0,45 mm, respectivamente. Las especies ipê y cumarú presentaron valores semejantes a la *C. spruceanum* y las otras dos especies presentaron valores medios mayores de depresión con menor desempeño para resistir cargas rodantes que se arrastren sobre su superficie. De acuerdo a los resultados obtenidos en este ensayo, le corresponde a la madera de *C. spruceanum* con acabado y sin acabado, la clasificación propuesta por Olivera (2016) como una madera de alta calidad. Por tanto, los pisos de madera de *C. spruceanum* son adecuados en ambientes donde ocurre el

arrastre frecuente de objetos pesados ya sea en empresas, centros comerciales o en viviendas, compitiendo así, con especies ampliamente utilizadas en Brasil para la fabricación de pisos.

4.2.3 Ensayo de cargas concentradas en pequeñas áreas

En la TABLA 19 se observan los valores medios de depresión ocasionados por el movimiento del rodillo dentado en la madera cerca a la médula con acabado y sin acabado después de 50 y 100 viajes y la madera cerca a la corteza con acabado y sin acabado, después de 50 y 100 viajes.

Las depresiones en pequeñas áreas ocasionadas en la *C. spruceanum* por medio de la fuerza aplicada por el rodillo dentado, fueron significativas a un nivel de confianza del 95% de probabilidad para la madera sin acabado y madera con acabado en ambos tratamientos, esto es, cerca de la médula y cerca de la corteza, en relación a los 50 y 100 viajes. En ella se puede observar que el mejor desempeño, es decir menor depresión en ambos tratamientos, lo tiene la madera con acabado. En general, el acabado con barniz poliuretano mejora la resistencia de la superficie al impacto, ralladuras y efectos de la abrasión (Bulian y Graystone 2009), al otorgarle a la superficie aplicada una mayor dureza superficial.

TABLA 19 - VALORES MEDIOS DE IDENTACIÓN CAUSADA POR LA APLICACIÓN DE CARGAS PUNTUALES SOBRE LA MADERA DE *Calycophyllum spruceanum* DE UNA PLANTACIÓN

Pisos	Medidas de depresión (mm)	
	50 viajes	100 viajes
Cerca a la médula (Me)		
Sin acabado	0,068a (19,50)	0,098b (36,03)
Con acabado	0,059a (24,90)	0,083b (38,11)
Cerca a la corteza (Co)		
Sin acabado	0,045a (30,56)	0,075b (26,27)
Con acabado	0,052a (30,09)	0,060b (31,00)
Media general sin acabado	0,057	0,086
Media general con acabado	0,056	0,071
T^{Me}	-2,74*	2,56*
T^{Co}	-2,54*	3.54*

FUENTE: La autora (2020)

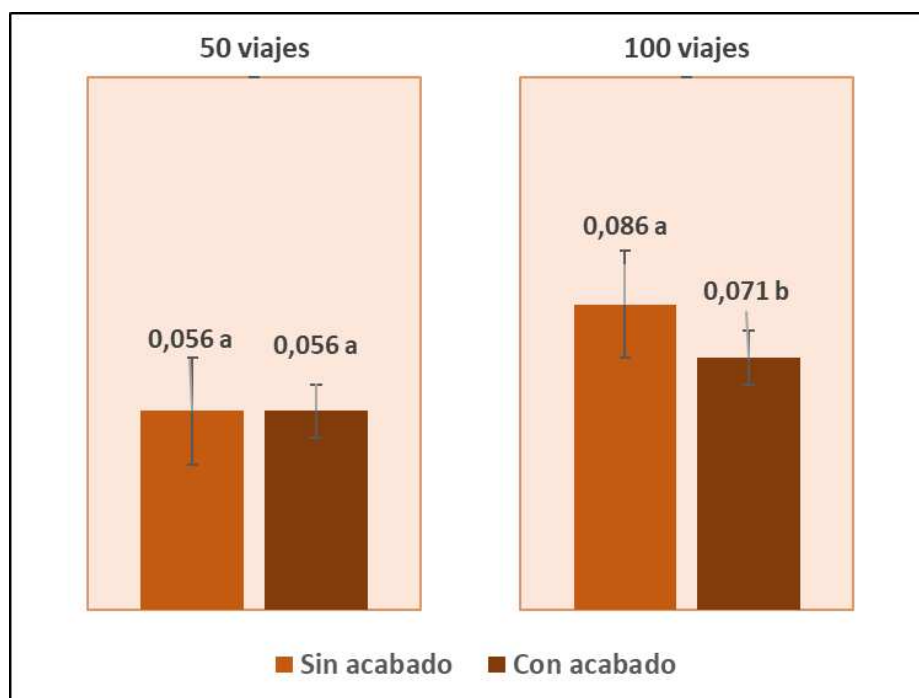
Nota: el valor entre paréntesis indica el coeficiente de variación. T^{Me} =compara medias en la columna cerca a la médula sin acabado y con acabado; T^{Co} = compara medias en la columna cerca a la corteza con acabado y sin acabado, a 5% de significancia por la prueba t de Student ; * = Significativo; ns = no significativo; medias seguidas de por lo menos en una letra en la fila, no difieren entre sí, a 5% de significancia, por la prueba de tukey.

En la TABLA 19 también se observa que, tanto los valores medios de depresión de la madera cerca a la médula y cerca a la corteza, se van incrementando significativamente con un nivel de confianza del 95%, conforme aumenta el número de viajes en el tiempo. La madera cerca a la médula con acabado presenta mejor desempeño que la madera cerca a la médula sin acabado con 28,9% y 30,6% de incremento respectivamente; asimismo, la madera cerca a la corteza con acabado presenta mejor desempeño, que la madera sin acabado con 13,5% y 40% de incremento respectivamente. A su vez la madera cerca a la corteza con acabado, presenta mejor desempeño que la madera cerca a la médula con acabado con 13,5% y 28,1% de crecimiento respectivamente, indicando que la menor depresión ante la aplicación de cargas concentradas en pequeñas áreas ocurrió en la madera cerca a la corteza, lo cual guarda relación con sus propiedades físicas y mecánicas de masa

específica y dureza Janka, respectivamente (TABLA 17), así como sus características anatómicas, ya que la longitud de fibra y el espesor de pared de la fibra de la *C. spruceanum* de la presente investigación, se incrementan significativamente en dirección a la corteza, lo que explicaría también el mejor comportamiento de la madera expresado como menor depresión en la zona cerca a la corteza (TABLA 8).

En la FIGURA 20 se compara los valores medios de depresión en la madera sin acabado (cerca a la médula y cerca a la corteza) y madera con acabado (cerca a la médula y cerca a la corteza), después de 50 y 100 viajes. Se observa que después de 50 viajes, ambas no presentaron valores medios significativos al 5% de probabilidad de error, sin embargo, después de 100 viajes se encontró diferencia significativa entre la madera sin acabado y con acabado, siendo la segunda la que presentó menor depresión en 17,4%. Esta mejor respuesta de la madera con acabado puede atribuirse a la ganancia en dureza superficial que le proporciona el recubrimiento, que es un barniz a base de resinas de poliuretano (CUADRO 1), utilizado en la madera de *C. spruceanum*. Al respecto, Corredor (2014) menciona que los recubrimientos de madera a base de barniz poliuretano le proporcionan a las superficies excelente dureza, resistencia química y mecánica, debido a sus cadenas poliméricas entrecruzada que polimerizan con calor formando una masa rígida y dura.

FIGURA 20 - VALORES MEDIOS DE IDENTACIÓN CAUSADA POR APLICACIÓN DE CARGAS PUNTUALES EN MADERA CON ACABADO Y SIN ACABADO DE *Calycophyllum spruceanum*, DE UNA PLANTACIÓN



FUENTE: La autora 2020

Medias seguidas por una misma letra, no difieren entre sí a 5% de significancia, por la prueba de Tukey

Para comparar con estudios similares se utilizará como parámetro la media general obtenida para 100 viajes para madera sin acabado y media general para madera con acabado (FIGURA 20).

Floréz et al. (2015) estudiando madera de *Tectona grandis*, encontraron una depresión de 0,100 mm. Marchesan (2016) evaluando la madera de *Hovenia dulcis* para la producción de pisos, encontró valores de 0,110 mm. Flórez et al. (2015) para pisos de *T. grandis* obtuvieron un resultado 0,10 mm de depresión y Barbosa et al. (2014) para pisos fabricados con una combinación de listones laminados de bambú (*Dendrocalamus giganteus*) y paneles de madera (*Pinus taeda*) después de 50 viajes se obtuvieron valores medios de 0,088 mm. Los mayores valores de depresión de *T. grandis* y *H. dulcis* podría atribuirse a la baja y mediana masa específica respectivamente que presentan y por tanto, menor resistencia a la presión ejercida por objetos con pequeñas áreas de contacto. Los listones laminados de bambú y paneles de madera presentan valores similares al presente estudio para madera sin acabado

(0,087), sin embargo la primera es después de 50 viajes y la madera en estudio después de 100 viajes, por lo que se puede inferir que mejor comportamiento lo tiene la *C.spruceanum*.

Los valores medios de depresión encontrados en el presente estudio, tuvieron un menor desempeño que los relatados por Martins et al. (2013) con 0,023 mm, 0,043 mm y 0,050 para madera de *E. cloeziana*, *C. maculata* y *E. microcorys*, respectivamente, estos menores valores de depresión y por tanto mejor desempeño, se puede atribuir a las mayores edades de 32 años para *E. cloeziana*, *C. maculata* y 40 años para *E. microcorys* con masa específica de 0,745, 0,80 y 0,79 respectivamente, por tanto, mayor resistencia.

Oliveira et al. (2019) encontraron valores medios de depresión de 0,016 mm y 0,024 mm en los pisos de sucupira y améndola, dos especies muy utilizadas comercialmente en Brasil. Silva (2019) evaluó cinco pisos de maderas tropicales, ipé, jatoba, sucupira-preta, cumarú y muiracatiara, con valores medios entre 0,015 mm a 0,045 mm. Todas consideradas maderas pesadas por su alta densidad y mayor resistencia que la *C. spruceanum*, con menor densidad y resistencia, sumado a su menor edad y por tanto, mayor proporción de madera juvenil, lo que explicaría su menor desempeño. Oliveira (2016), señala que altas densidades como es el caso de las especies citadas consideradas como maderas pesadas, proporcionan mayor resistencia y dureza que se refleja en la resistencia a la carga aplicada.

De acuerdo con los índices para la determinación de clases de calidades para pisos de madera propuesto por Olivera (2016), los pisos de madera la *C spruceanum*, sin acabado (0,086 mm) y con acabado (0,071 mm), corresponde a la clase baja (mayor de 0,031). Por tanto, al menos para este ensayo los pisos de madera de *C. spruceanum* pueden ser usados en ambientes que no esten expuestos a objetos puntiagudos.

4.2.4 Ensayo de impacto de caída de esfera de acero

En la TABLA 20 se encuentran los valores medios de depresión provocadas sobre la superficie de los pisos por impacto de la esfera de acero a 180 cm de altura.

En ella se puede observar que la madera de *C. spruceanum* en la composición madera cerca a la médula con acabado y sin acabado, madera cerca a la corteza con acabado y sin acabado, no presentaron diferencias significativas con un nivel de confianza de 95%, por lo que es de suponer que el recubrimiento para madera cerca a la médula y madera cerca a la corteza, en ambas composiciones, con acabado o sin acabado, no tiene ningún efecto de mejora ante el impacto de caída de la esfera de acero.

TABLA 20 - VALORES MEDIOS DE DEPRESIÓN OCASIONADAS POR EL IMPACTO DE LA CAÍDA DE LA ESFERA DE ACERO EN LA MADERA CERCA MÉDULA Y CERCA A LA CORTEZA, SIN ACABADO Y CON ACABADO A 180 cm DE ALTURA DE *Calycophyllum spruceanum* DE UNA PLANTACIÓN

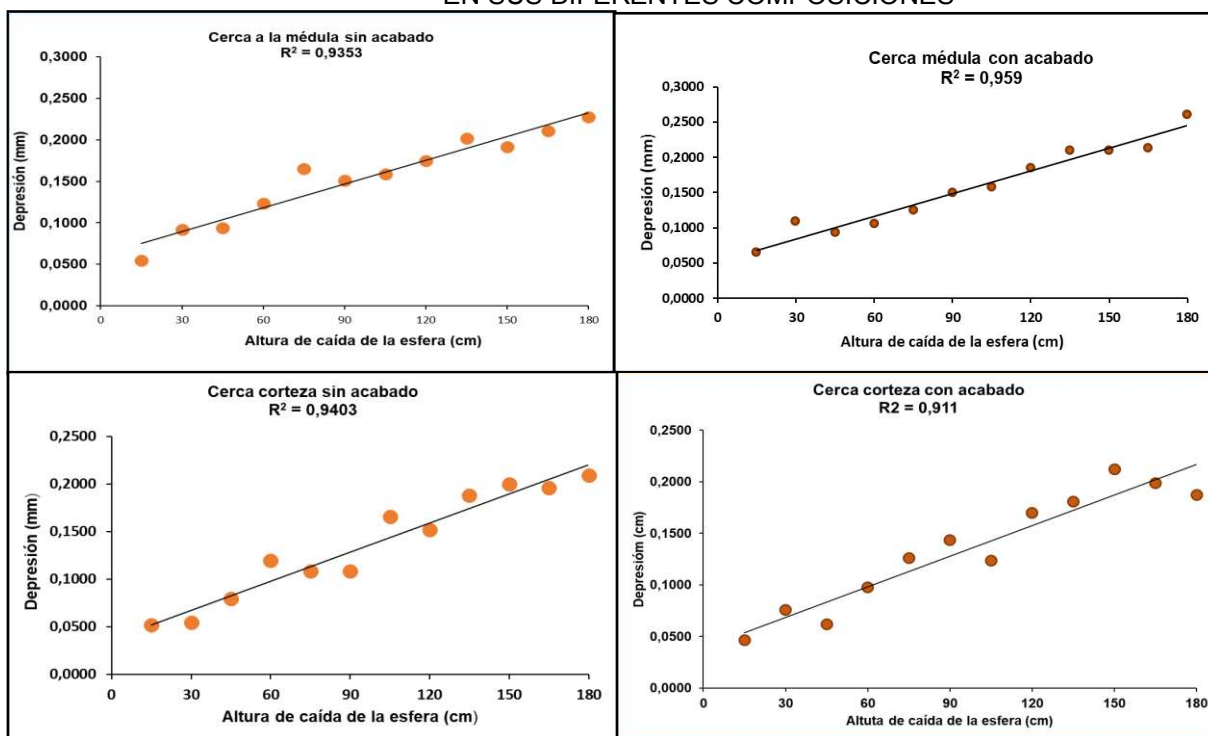
Pisos de madera	MEDIDA DE DEPRESIÓN (mm)	CV (%)
Cerca a la médula (Me)		
Sin acabado	0,23	10,33
Con acabado	0,26	33,54
Cerca a la corteza (Co)		
Sin acabado	0,21	12,85
Con acabado	0,19	24,21
Media general	0,22	
T ^{Me}	-1,17 ^{ns}	
T ^{Co}	1,1 ^{ns}	

FUENTE: La autora (2020)

Nota: CV = Coeficiente de variación; T^{Me} = compara medias en la columna cerca a la médula sin acabado y con acabado; T^{Co} = compara medias en la columna cerca a la corteza con acabado y sin acabado, a 5% de significancia por la prueba t de Student ; ns = no significativo.

En la FIGURA 21, se presentan las relaciones entre la depresión causada por el impacto de la esfera de acero y la altura de caída sobre los pisos de madera de la *C. spruceanum* en madera cerca a la médula y madera cerca a la corteza en sus dos composiciones, sin acabado y con acabado. En ella, se puede observar el grado de asociación que existe entre la altura de caída de la esfera y la depresión ocasionada por el impacto sobre la madera, con coeficientes de correlación positivos e intensos, entre las dos variables. Para todas las composiciones, la caída de la esfera de acero sobre la superficie del piso causa una deformación que va en aumento cuando mayor es la distancia de liberación de la esfera, causando una mayor depresión con tendencia lineal.

FIGURA 21 - RELACIÓN ENTRE LA DEPRESIÓN CAUSADA POR LA CAIDA DE LA ESFERA DE ACERO Y LAS ALTURAS DE CAIDA PARA LOS PISOS DE LA MADERA EVALUADA EN SUS DIFERENTES COMPOSICIONES



FUENTE: La autora 2020

En la TABLA 21 se encuentran las ecuaciones de regresión y los índices de resistencia a la hendidura, para la especie estudiada en sus diferentes composiciones, considerando todos los datos de depresión causada por la esfera de acero y altura de caída (FIGURA 21). A partir de las ecuaciones de regresión fue posible determinar el índice de resistencia a la hendidura para cada composición para una altura máxima de caída de 180 cm (ASTM D2394, 2008). Este índice representa, el patrón de comparación de resistencia de diversas maderas para este tipo de esfuerzo (Flórez, 2016). Para comparar con estudios realizados por otros autores, se utilizará como patrón de comparación el valor de 0,23 mm, que es el promedio de los cuatro índices de resistencia a la hendidura obtenidos en el presente estudio. (ANEXO 5).

TABLA 21 - ECUACIÓN AJUSTADA PARA DATOS DE HENDIDURA Y VALORES DE ÍNDICES DE HENDIDURA POR IMPACTO DE LA CAÍDA DE LA ESFERA DE ACERO SOBRE LA MADERA DE *Calycophyllum spruceanum* DE UNA PLANTACIÓN

Pisos de madera	Ecuación de tendencia	(r)	I R H (mm)
Cerca médula sin acabado	$Y = 0,001X + 0,0608$	0,9671	0,24
Cerca médula con acabado	$Y = 0,0011X + 0,0523$	0,9792	0,25
Cerca corteza sin acabado	$Y = 0,001X + 0,0369$	0,9697	0,22
Cerca corteza con acabado	$Y = 0,001X + 0,039$	0,9545	0,22

FUENTE: La autora (2020)

Donde: r = Coeficiente de correlación IRH = Índice de resistencia a la hendidura (mm)

Los valores medios de las depresiones ocasionadas por el impacto de la caída de la esfera de acero sobre el piso para la *C.spruceanum* de 0,23 mm fueron semejantes a lo encontrado por Martins (2008) en maderas de *C.maculata*, *E. microcorys* y *E. cloeziana* (0,21 mm, 0,21 mm y 0,27 mm) respectivamente; sin embargo, la especie en estudio es más joven y de menor masa específica que las especies en comparación. Según González (2006) la respuesta del piso a las cargas de impacto, depende de varias propiedades combinadas de la madera, tales como flexibilidad, dureza y resiliencia; la madera de *C.spruceanum* presenta alta resistencia a la flexión (TABLA 11), sumado a una tenacidad de 5,2 kg-m, clasificada como muy alta, según la clasificación de Aróstegui et al. (1980); asimismo, una pieza de madera considerada tenaz es aquella que soporta una gran deformación bajo flexión o torsión antes de romperse (KOLLMANN Y CÔTÉ, 1968). Son aspectos que tendrían influencia sobre la resistencia al impacto de caída de la esfera, en la madera investigada.

Padilha (2005), encontró para siete clones de *E.grandis* de 8 años, valores medios de 0,43 mm para la posición central y de 0,50 mm para la posición externa con valores medios de masa específica básica de 0,51 g.cm⁻³ y 0,55 g cm⁻³, este valor es considerado alto y por tanto de menor índice de resistencia al impacto de caída que lo encontrado en el presente estudio. La mayor depresión se justifica debido a los valores

más bajos de masa específica básica y dureza Janka, así como la menor edad de las especies de *E. grandis*.

El valor de 0,23 mm de depresión de la *C. spruceanum* puede ser considerado con menor índice de resistencia si se compara con especies muy usadas para pisos en Brasil como, cumarú, (0,195 mm), e ipê (0,184 mm) y con mayor índice de resistencia que jatobá (0,316 mm), muiracatiara (0,339 mm) y sucupira preta (0,468 mm). Explicado por su mayor masa específica para los primeros y menor masa específica para los segundos (SILVA, 2019).

. La *C. spruceanum* de 20 años, además de presentar alta densidad y dureza, el 64,1% del volumen de la madera está ocupada por fibras, con diámetro de poros pequeños, moderadamente numerosos grano recto a ligeramente entrecruzado como características anatómicas generales, que explicarían su comportamiento frente a fuerzas externas de coalición.

De acuerdo a los resultados obtenidos y según la tabla de clasificación propuesta por Oliviera (2016), la madera de *C. spruceanum* puede ser clasificada como de alta calidad al impacto de caída de la esfera de acero similares a especies ampliamente utilizadas en la fabricación de pisos en Brasil.

4.2.5 Ensayo de abrasividad

En la TABLA 22 se presentan los valores promedios de depresión ocasionados por la abrasión, después de 500 ciclos, sobre las probetas de la madera de *C. spruceanum*, evaluadas en la composición madera cerca de la médula y madera cerca a la corteza ambas con acabado y sin acabado.

En ellas la madera cerca a la médula sin acabado y con acabado presentan diferencias significativas, con menor depresión en la madera con acabado, es decir más resistente al desgaste sufrido después de 500 ciclos de abrasión. Esta mayor resistencia se explicaría por la dureza adicional que le proporciona el barniz poliuretano a la superficie de la madera (Calvo, 2009; Corredor, 2014), Sin embargo, en la madera cerca corteza el barniz poliuretano parece no influir en mejorar la resistencia de la madera a la abrasión.

TABLA 22 - VALORES MEDIOS DE DEPRESION OCURRIDAS POR LA ABRASION EN LA MADERA DE *Calycophyllum spruceanum* DE UNA PLANTACIÓN

Pisos de madera	Medida de depresión (mm)	CV (%)
Madera cerca Médula (Me)		
Sin acabado	0,06 a	34,53
Con acabado	0,04 b	24,36
Madera cerca a la corteza (Co)		
Sin acabado	0,05 a	35,97
Con acabado	0,06 a	25,31
Promedio general	0,05	
T ^{me}	4,68*	
T ^{co}	-1 ^{ns}	

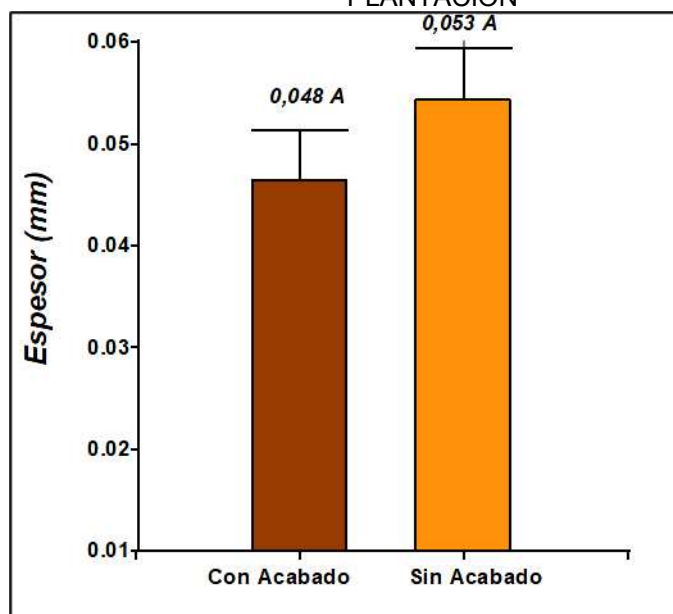
FUENTE: La autota (2020)

Nota: CV = Coeficiente de variación; T^{me} = compara medias en la columna cerca a la médula sin acabado y con acabado; T^{co} = compara medias en la columna cerca a la corteza con acabado y sin acabado, a 5% de significancia por la prueba t de Student ; medias seguidas de por lo menos en una letra en columna, no difieren entre sí, a 5% de significancia, por la prueba de tukey ; ^{ns} = no significativo; * = Significativo.

Esta diferencia puede estar relacionada con su estructura anatómica, propiedades físicas y mecánicas; la madera cerca a la corteza, presenta mayor longitud de fibras, mayor espesor de pared, con poros grandes y escasos y con mayor masa específica básica y mayor dureza Janka, sin embargo, la madera cerca a la médula presenta longitud de vasos y fibras más cortas, con poros más pequeños y numerosos, menor espesor de fibra y menor masa específica y dureza Janka (TABLA 8 y TABLA 17).

En la FIGURA 22, se comparan los valores medios de la madera sin acabado y madera con acabado, considerando en ambos promedios, todos los valores de madera cerca a la médula y madera cerca a la corteza. Se puede observar que las probetas de madera con acabado presentaron mejor respuesta a la depresión por abrasividad en 9,9 %, sin embargo, sus valores no fueron significativos, Al respecto, cabe señalar que el 64,1 % del volumen de la madera son fibras, confiriéndole buenas propiedades de resistencia y dureza, y el mejor desempeño frente a la abrasión que presentó la madera con acabado, se debe al recubrimiento con barniz poliuretano añadido. El mismo resultado encontró Nascimento et al. (2016) en un estudio sobre tableros de partícula en forma de pisos con recubrimiento y sin recubrimiento.

FIGURA 22 - VALORES MEDIOS DE LAS DEPRESIÓN OCURRIDAS POR LA ABRASIÓN EN LA MADERA CON ACABADO Y SIN ACABADO DE *Calycophyllum spruceanum* DE UNA PLANTACIÓN



FUENTE: La autora 2020

Nota: Los valores medios seguidos de diferente letra, son diferentes entre sí, prueba de Tukey a 5% de probabilidad de error

Al comparar los resultados de depresión obtenidos por los ensayos de abrasividad con otras especies destinadas a la producción de pisos y considerando un valor medio entre la madera cerca a la médula y madera cerca a la corteza de 0,05 mm, se encontró que: Martins et al. (2013) al evaluar la resistencia a la abrasión de pisos de madera de las especies *Corymbia maculata*, *E. microcorys* y *E. cloezina*, encontraron valores promedio de depresión de 0,076 mm, 0,073 mm y 0,055 mm, respectivamente; sin embargo, al considerar la masa específica básica, se observa que la madera de *C. maculata* ($0,805 \text{ g.cm}^{-3}$) tiene mayor masa específica básica que *E. microcorys* ($0,795 \text{ g.cm}^{-3}$) y *E. cloezina* menor masa específica básica ($0,740 \text{ g.cm}^{-3}$) que las dos especies anteriores, no mostrando una relación entre la resistencia a la abrasión y la masa específica básica. Los valores de depresión presentados por *C. maculata* y *E. microcorys* son mayores que los valores promedio de la *C. spruceanum*, pero similares a los valores promedio de *E. cloeziana*. Asimismo, sin guardar relación entre los valores de depresión y la masa específica básica de cada especie.

Silva (2019) evaluando cinco especies cedidas por una empresa en la Ciudad de Alta Floresta-Mato Grosso, *D. odorata*, *H. spp*, *H. courbaril*, *A. lecointei* y *B. virgilioides*, obtuvo valores medios entre 0,1 mm y 0,2 mm, de depresión, el menor valor fue para *H. courbaril* y el mayor para *A. lecointei*, ambos con mayor masa específica, sin embargo con menor desempeño cuando es comparada con *C. spruceanum* de la presente investigación. Para este estudio el autor no encontró correlación significativa entre la densidad básica de la madera y la resistencia a la abrasión. Similares resultados obtuvieron Berndsen et al. (2014) con ensayos de abrasión en bambú mossó (*P. pubescens*) para pisos macizos, determinando que mayores densidades no siempre se refleja en mayor resistencia al desgaste.

Cortez et al. (2014) evaluando pisos compuestos por láminas de bambú y EPG (Edge glued panels) de madera de *pinus*, obtuvo un valor de 0,08 mm de depresión, igual valor de depresión lo obtuvo Marchesan (2016), de 0,08 mm al evaluar la madera de *Hovenia dulcis* para la producción de pisos después de 500 ciclos de abrasión, ambas especies con menor desempeño a la *C. spruceanum*.

Considerando que a mayor depresión corresponde una menor resistencia a la abrasión, se puede inferir que la madera de *C. spruceanum* tiene cierta ventaja sobre las especies estudiadas por Martins et al. (2013), Silva (2019), Barbosa et al. (2014) y Marchesan (2016), sometidas a esfuerzos de abrasión.

Asimismo, para este ensayo, se deben considerar otras características de la madera, propias de una especie, como la estructura anatómica, composición química, herencia genética, edad, entre otros. Moreschi (2014) señala que la abrasión es un fenómeno tan complejo y diferente, que no existe prueba estandarizada para este propósito, solo es posible simular escenarios de madera en servicio con fines comparativos.

De manera general se puede afirmar que la madera de *C. spruceanum* presentó buen comportamiento a los esfuerzos de abrasividad, pudiendo ser utilizada en la fabricación de pisos que soportarán alto índice de tránsito.

4.2.6 Ensayo de fricción estático y dinámico

En la TABLA 23, se presentan los valores promedios de los coeficientes de fricción estático y dinámico de la madera cerca a la médula y cerca a la corteza de la *C. spruceanum* con acabado y sin acabado. Al comparar el comportamiento de los respectivos coeficientes de fricción, se encontró que existe diferencia estadística entre ellos, la madera cerca a la médula sin acabado presentó el menor coeficiente medio de fricción estático, difiriendo estadísticamente de la madera con acabado. Esta misma tendencia se observa en la madera cerca a la corteza, en donde los coeficientes medios de fricción estático de la madera sin acabado son menores a los coeficientes de fricción estático de la madera con acabado, con un nivel de confianza del 95%. Esto nos indica que la madera sin acabado es mas resbaladiza que la madera con acabado.

El coeficiente de fricción dinámico mantuvo la misma tendencia, es decir, la madera cerca a la médula y cerca a la corteza sin acabado presentaron los menores valores de coeficiente de fricción dinámico, difiriendo estadísticamente de la madera con acabado. La madera sin acabado cerca a la corteza y cerca a la médula, por presentar el coeficiente de fricción más bajo, garantizan más seguridad al deslizamiento por la menor fuerza necesaria para la continuación del movimiento como lo indica Flórez et al. (2015).

Sin embargo, la madera con acabado cerca a la médula y cerca a la corteza fueron menos resbaladizas por sus coeficientes de fricción mayor. Además, por las características anatómicas de la *C. spruceanum*, esto es, presentar porosidad difusa con arreglo radial, solitarios y en concentración constante con ausencia de parénquima y radios visibles, la sitúan como una madera con textura fina (Vásquez y Ramirez, 2011) de importancia en el acabado de pisos de madera, porque le permitirle brindar una gran diversidad de elementos y productos que realzan su belleza, aumentan su durabilidad. (PUERTAS et al., 2013), su mayor calidad estética y de protección, sumado a ello la seguridad al caminar debido a su mayor coeficiente de fricción.

La diferencia que hay entre los coeficientes de rozamiento de la madera cerca a la corteza y cerca a la médula con acabado y sin acabado, podría estar relacionado con la variación radial de las características anatómicas de la madera, en donde la longitud de fibra, longitud de vaso y el diámetro de vasos se incrementan desde la médula hacia la corteza mientras que la frecuencia de vasos disminuye en la misma

dirección; también podría influir la textura de la madera, la rugosidad de la superficie y la variabilidad propia de la madera.

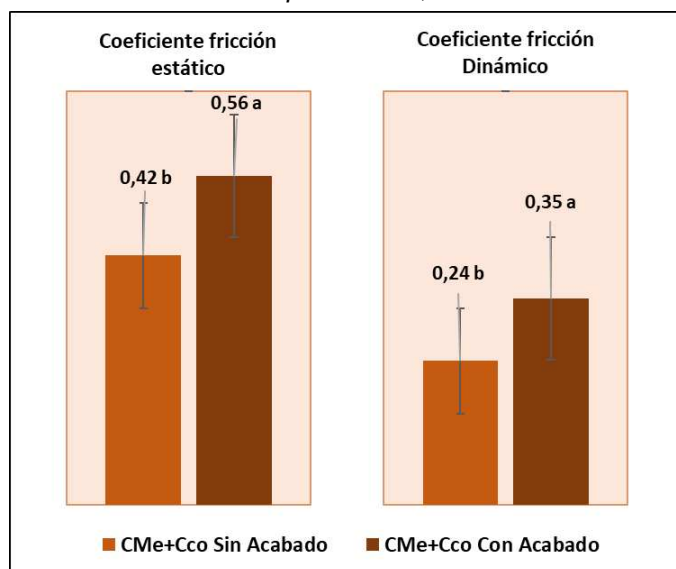
TABLA 23 - VALORES MEDIOS DE COEFICIENTES DE FRICCIÓN ESTÁTICO Y FRICCIÓN DINÁMICO PARA LA MADERA DE *Calycophyllum spruceanum* DE UNA PLANTACIÓN

Pisos	Coeficiente de fricción	
	Fricción Estática	Fricción Dinámica
Madera cerca Médula (Me)		
Sin acabado	0,39 a (20,8)	0,23 a (15,61)
Con acabado	0,53 b (13,24)	0,33 b (13,67)
Madera cerca a la corteza (Co)		
Sin acabado	0,46 a (15,71)	0,26 a (13,0)
Con acabado	0,58 b (13,19)	0,37 b (11,44)
T ^{Me}	-7,96**	-7,89**
T ^{Co}	-7,24**	-16,38**

Nota: CV = Coeficiente de variación; T^{Me} = compara medias en la columna cerca a la médula sin acabado y con acabado; T^{Co} = compara medias en la columna cerca a la corteza con acabado y sin acabado, a 5% de significancia por la prueba t de Student ; medias seguidas de por lo menos en una letra en columna, no difieren entre sí, a 5% de significancia, por la prueba de tukey ; ^{ns} = no significativo; * = Significativo.

La FIGURA 23 presenta los valores promedio de fricción estático y dinámico de la madera de *C. spruceanum* sin acabado (corteza y médula) y madera con acabado (corteza y médula). En ella se puede observar que tanto los valores medios de los coeficientes de fricción estático y fricción dinámico de la madera de *C spruceanum* con acabado y sin acabado, presentaron diferencia significativa, con un nivel de confianza del 95 % . La madera con acabado en ambos casos, presentó un coeficiente de fricción superior. Esta característica le permite un mejor desempeño sobre la madera sin acabado porque al caminar sobre una superficie de madera la posibilidad de sufrir deslizamientos es menor que en la madera sin acabado.

FIGURA 23 - VALORES MEDIOS DE COEFICIENTES DE FRICCIÓN ESTÁTICO Y FRICCIÓN DINÁMICO DE LA MADERA CON ACABADO Y SIN ACABADO DE *Calycophyllum spruceanum*, DE UNA PLANTACIÓN



FUENTE: La autora 2020

Nota: Los valores medios seguidos de diferente letra, son diferentes entre sí, prueba de Tukey a 5% de significancia; CMe: cerca médula; Cco : cerca corteza

Al comparar los resultados de depresión obtenidas por ensayos de abrasividad con otras especies potenciales para producción de pisos se puede constatar que los resultados obtenidos en este estudio fueron superiores en relación a las siguientes especies. Pisos con acabado de *C. maculata*, *E. microcorys* y *E. cloeziana* con valores de coeficientes de fricción estática de 0,250, 0,280 y 0,340 y para coeficientes de fricción dinámica de 0,150, 0,130 y 0,190, respectivamente como lo indica Martins et al. (2013). Lo que significa que la superficie de *C. spruceanum* es menos resbaladiza y más segura al deslizamiento, que las maderas de eucaliptos de comparación.

Floréz (2016) al evaluar Madera de teca sin tratamiento, encontró valores de 0,370 y 0,180, tratada con stain valores de 0,460 y 0,300 y tratada con cera valores de 0,270 y 0,260 con coeficientes de fricción estático y dinámico respectivamente, estos valores son menores a lo encontrado en el presente estudio

Padilha et.al. (2006) al evaluar la calidad de madera destinada a pisos con acabado de siete Clones de *E. grandis* con acabado, quienes presentaron valores medios de 0,376 y 0,230, para los coeficientes de fricción estático y dinámico

respectivamente, se puede ver que son menores a lo encontrado en el presente estudio.

Oliveira et al. (2019) al evaluar los coeficientes estático y dinámicos en pisos de madera de las especies *T. impetiginosa*, *D. odorata*, *B. nitita* y *M. scabrella* encontraron valores medios del coeficiente de fricción estático de 0,265, 0,253, 0,254 y 0,265 respectivamente y valores medios de coeficiente de fricción dinámico de 0,198, 0,175, 0,173 y 0,154, respectivamente. Estos valores medios encontrados por el autor son menores a los encontrados en la presente investigación.

Marchesan (2016) encontró para la *H. dulcis*, coeficientes de fricción estático y dinámico de 0,470 y 0,250, respectivamente, semejantes a la *C. spruceanum* sin acabado y sin embargo, estos valores fueron inferiores a la madera con acabado.

En general, los coeficientes de fricción estático para la madera se encuentran entre 0,25 y 0,56 y de 0,13 a 0,48 para fricción dinámico, considerados como adecuados para los estándares de comparación. La *C. spruceanum* obtuvo un coeficiente de fricción dinámico promedio de 0,35, que conforme la clasificación propuesta por Oliveira (2016) lo clasifica como madera de alta calidad.

Los coeficientes de rozamiento son importantes en la selección de especies madereras para la fabricación de pisos, en función de su uso y el tráfico donde será instalado, siendo importante que los pisos de madera proporcionen una superficie segura y no resbaladiza (SILVA, 2019). Valores con coeficientes de fricción altos van a permitir superficies menos resbaladizas, en ese sentido, la madera de *C. spruceanum* por sus altos índices de rozamiento, puede ser considerada aptas para ser utilizada en la fabricación de pisos de madera.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los resultados obtenidos en la caracterización de la madera de *Calycophyllum spruceanum* de 20 años, plantados en el Perú, se concluye que:

- Presenta una médula con baja excentricidad, que la caracteriza como madera con bajo contenido de madera de reacción.
- Respecto a sus características anatómicas, se define como madera con fibras de longitud media, paredes delgadas a espesas, longitud de vasos medianos, poros pequeños y moderadamente numerosos.
- Madera clasificada como de alta masa específica, adecuada para su utilización en la fabricación de pisos.
- La madera presenta contracción volumétrica con estabilidad media y con coeficiente anisotrópico considerado como moderadamente estable.
- Con respecto a las propiedades mecánicas, la madera presentó una alta resistencia a la compresión paralela a las fibras, muy alta resistencia a la flexión estática, al cizallamiento y alta dureza Janka, calificándola como madera con buenas características para ser utilizada en productos de madera maciza.
- Respecto a sus propiedades químicas, se caracteriza por presentar holocelulosa dentro del rango medio de las latifoliadas, lignina ligeramente por encima del rango superior, con alto contenido de extractivos.
- Como la dureza y masa específica básica de la madera son propiedades importantes para evaluar la calidad de pisos, por los resultados obtenidos, se puede concluir que la madera de *C. spruceanum* de bosques plantados tienen gran potencial para ser usada en la producción de pisos de madera maciza.
- Las propiedades físicas y mecánica de la *C. spruceanum* estudiada no varía mucho respecto a la madera de bosques naturales ya que se mantienen dentro de rango de clasificación como altos y muy altos, considerando que aún son especies relativamente jóvenes.

De los resultados obtenidos en el ensayo de pisos de madera en servicio, se puede concluir que:

- Los ensayos de carga rodante, impacto a la caída de la esfera de acero y abrasividad, presentaron resultados similares, en la madera sin acabado y con acabado.
- En el ensayo de aplicación de cargas en pequeñas áreas y rosamiento, los mejores resultados lo obtuvieron las maderas con acabado.
- Para todos los ensayos de simulación de pisos en servicio, la *C. spruceanum* presentó resistencia comparable a especies plantadas y de bosques naturales ampliamente usadas en la fabricación de pisos.
- Por los resultados obtenidos en la mayoría de ensayos de simulación de pisos en servicio, la madera de *C. spruceanum*, se comportó como una madera de buena calidad, pudiéndose recomendar su uso en lugares de tránsito intenso.

En base a las conclusiones del estudio se recomienda:

- Realizar estudios sobre tratamiento térmico y comportamiento ante el secado a fin de mejorar su estabilidad dimensional, ya que, por sus buenas características físicas, mecánicas y químicas, se vislumbra como una especie de bosques plantados con buen potencial para fabricación de pisos.
- Realizar estudios de simulación de pisos en servicio a una mayor cantidad de especies provenientes de bosques naturales y plantados, de maderas duras y blandas a fin de tener patrones de comparación que permita garantizar un mínimo de calidad de las especies utilizadas en la fabricación de pisos.

REFERENCIAS

ACEVEDO, M. **Características tecnológicas de maderas peruanas**. Universidad Nacional Agraria La Molina, 2011. 320p.

ACEVEDO, M.; KIKATA, Y. **Atlas de maderas del Perú**. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina - Universidad de Nagoya. Publifor, 1994. 202 p.

AGRO ENFOQUE. Reforesta Perú S.A.C: **Un caso de éxito en plantaciones forestales con fines comerciales e industriales**. N° 203, pág. 45 – 51. 2016.

ALBIN, R. Determinación del pH en diversas especies de los renovables de la provincia de Valdivia. Valdivia, CL. **Bosque**, v.1, n.1, p.3-5, 1975.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 143-94**. United States, 2000. 31 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D2394-05**. United States. 2008. p. 288 – 298.

ANANÍAS, R. **Física de la Madera**. Departamento de Ingeniería en Maderas. Universidad del Bio-Bio. Chile, 1992. 41p.

ANDRADE, ARIEL. **Pisos de madeira**: características de espécies brasileiras. Piracicaba: ANPM, 2015. 184p.

ANDRADE, J.K. D. **Propriedades da madeira e do carvão vegetal de pau -mulato (*Calycophyllum spruceanum* Benth.) de plantio experimental**. 89f. Dissertação (Mestrado)Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2016.

ANDRADE, J.K.B; ARANTES, M.D.C.; OLIVEIRA, J.T.S; PAES, J.; SILVA, S.B.; ROCHA, S.M.G.; SILVA, L.F.; LÓPEZ.Y.M. Descrição anatômica da madeira de Pau-mulato (*Calycophyllum pruceanum* (benth.) k. schum.). III Congresso Brasileiro de ciência e Tecnologia da Madeira.Florianópolis, 2017. 8p.

ARAÚJO, B.H.P.; SOUSA, M.A.R; ZANUNCIO. Propriedades físicas da madeira de *Calycophyllum spruceanum* Benth. em função do diâmetro e da posição (base e topo) no fuste. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 111, p. 759-768, 2016.

ARÓSTEGUI, A. **Recopilación y Análisis de Estudios Tecnológicos de Maderas Peruanas**. Documento de trabajo No 2. Proyecto PNUD/FAO/PER/81/002. Lima, Perú, 1982. 57p.

ARÓSTEGUI, A.; GONZALES, F.; SATO, A. 1980. Propiedades tecnológicas y uso de la madera de 40 especies del Bosque Nacional Alexander Von Humboldt. **Revista Forestal del Perú**, v.10, n.1-2, p.1-86. 1980..

ARROYO, P.J. **Propiedades Físico-mecánicas de la Madera**. Mérida: Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de los Andes, 1983. 197 p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15798**: Pisos de Madeira – Terminologia. 10 p., Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15799**: Pisos de Madeira com e sem acabamento - Padronização e classificação. 6 p., Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projetos de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

AUCCALLA, T.A.F. **El cultivo de la cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) variedad CTR en Curimaná-Aguaytía**. 78 p. Trabajo de Titulación (Ingeniero agrónomo) - Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, 2019.

BALDIN, T; MARCHIORI, J. N. C. Anatomia da madeira de *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) K. Schum. E *Calycophyllum spruceanum* F. Brasiliensis K. Schum. **BALDUINIA**, Santa María, n. 50, p. 16-23, 2015.

BALDIN, T; SIEGLOCH, A.M.; MARCHIORI, C.J.N.; DANARDI, L. Análise comparativa da anatomia da madeira de 41 espécies de Rubiaceae sob enfoque taxonômico. **Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica**. v. 51, n 04, p. 623-634, 2016.

BARBOSA, J.C.; SILVA, J.R.M.; ALVARENGA, F.; SOUZA, A.J.D.; ARAUJO, V.A.; GARCIA, J.N. Simulation Analysis of In-Service Bamboo and Pine EGP Composite Flooring. **Advanced Materials Research**. v. 1025-1026, n.2014, p.233-240. 2014.

BARCENAS, P. G.; DAVALOS, S. R. Importancia de la lignina en las contracciones de la madera: revisión bibliográfica. **Madera y Bosques**, v. 5, n. 1, p. 13–26, 1999.

BARBOSA, J.C.; SILVA, J.R.M.; ALVARENGA, F.; SOUZA, J.D.; ARAUJO, V.A.; GARCIA, J.N. Simulation Analysis of In-Service Bamboo and Pine EGP Composite Flooring. **Advanced Materials Research**. v. 1025-1026, p. 233-240, 2014.

BATISTA, D. C. **Modificação térmica da madeira de *Eucalyptus grandis* em escala industrial pelo processo brasileiro VAP Holz Systeme ®**. 339f. Disertación (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BERNDSEN, R.S.; KLITZKE, R. J.; BATISTA, D. C.; NASCIMENTO, E. M.; OSTAPIV, F. Mechanical resistance of mosso bamboo (*Phyllostachys pubescentis*) part 2: axial

tensile strength, hardness and wear resistance. **FLORESTA**, Curitiba, v.44, n.3, p. 505-514, 2014.

BERTUOLI, P. T.; HILLIG, É.; BIANCHI, O. **Caracterização química e termogravimétrica da serragem de madeiras de *Pinus taeda* e de *Apuleia leiocarpa*, provenientes de indústrias moveleiras**. UCS – Universidade de Caxias do Sul. Encontro de Jovens Pesquisadores. 2006.

BHAT, K. M.; BHAT, K. V; DHAMODARAN, T. Fibre length variation in stem and branches of eleven tropical hardwoods. **IAWA Bull. n.s.** v.10, n. 1, p. 63-70, 1989.

BLANCO, F. J.; SILVA, J. R. M.; BRAGA, P. P. de C.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P.F. Simulação em serviço de pisos de madeira jovem de *Tectona grandis*. **Revista Matéria**, v.20, n.4, p. 1048-1060, 2015.

BOWYER, J.L., SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J.G. **Forest products and wood science: An introduction**. 5th Ed. Iowa State Press, Ames, USA. 2007.

BOYD, J.D. Anisotropic shrinkage of wood: Identification of the dominant determinants. **Wood sci.** tahand,1974.

BULIAN, F; GRAYSTONE, J. **Wood Coating: Theory and Practice**. Londres, UK. Elsevier, 2009. 320 p.

BURGA, L.E.A. **Estudio de mercado de pisos de madera en Lima Metropolitana**. 142p.Trabajo de Titulación (Ingeniería Forestal) - Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, 2010.

CALORI, J. V; KIKUTI, P. Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos 20 anos de idade. En: Anais da Conferencia IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria. Salvador, Brasil.1997.

CALVO, J. CARBONELL.**Pinturas y barnices. Tecnología básica**. Ed. DIAZ DE SANTOS, 2009. 407p.

CAMARA NACIONAL FORESTAL. **Utilización Industrial de Nuevas Especies Forestales en el Perú**. Lima: PROYECTO OIMT PD 37/88 (I) Rev. 3, 1999. 240 p.

CARDOSO, S.; SOUSA, V.; QUILHÓ, T.; PEREIRA, H. Variabilidade anatômica da teca (*Tectona grandis*) de Timor-Leste. In: 6º Congresso Florestal Nacional: Ponta Delgada.Lisboa. 2009. p.536-543.

CARLQUIST, S. **Comparative wood anatomy**. Berlin: Springer-Verlag, 2001. 448 p.

CASSENS, L. D.; SERRANO, J. R. **Growth stress in hardwood timber**. Proceedings of the 14th Central Hardwood Forest Conference. Ohio, USA, 2004.

CHAVESTA, C. M. **Maderas para Pisos**. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina. Departamento de Industrias Forestales, 2005. 176p.

CHICHIGNOUD, M.; DEON, G.; DETIENNE, P.; PARANT, B.; VANTOMME, P. **Atlas de Maderas Tropicales de América Latina**. OIMT/CTFT. Yokohama, Japón, 1990. 218 p.

CONFEDERACIÓN NACIONAL DE LA MADERA **Compendio de información técnica de 32 especies forestales**. Tomo I. Lima.RC Servigraf S.R.L., 1994. 146p.

CORONEL, E.O. **Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas**. Instituto de Tecnología de la Madera. Editorial El Liberal Santiago del Estero- Argentina.1994.

CORREDOR, JL. **Los poliuretanos como sistema de recubrimiento**. 2014. Disponible en: <http://www.barnizadoencoladomueble.com/polietanos-2/>. Consultado: 10 setiembre 2019.

COSTA, A. **Anatomia da madeira**. Joinville: UDESC: p.42, 2001

COSTA, A. C. S. **Qualidade de pisos maciços de madeiras tropicais**. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais e Ambientais)- Universidade Federal de Mato Grosso, 78p.,Cuiabá, 2019.

CUELLAR, J.; REYES, P. ¿Es la Capiróna *Calicophyllum spruceanum* Una opción rentable para la promoción de Plantaciones Forestales en la Amazonia?. XII Congreso Nacional Forestal CONAFOR. 2016 Lima-Perú.

DÁVALOS, S. R.; BÁRCENAS, P.G. Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición “verde”. **Madera y Bosque**. v.4, n.1, p. 65-70. 1998a.

DÁVALOS, S. R.; BÁRCENAS, P.G. Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición “seca”. **Madera y Bosque**. v.5, n.1, p. 61-69. 1999b.

DIAZ, R.M. 2008. **Variación de las propiedades físicas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth)Hooker F. ex Chuman (Capiróna) de una plantación de ocho años en la zona de Tingo María**, Perú. 92 p.Tratado de sustentación (Ingeniería Forestal), Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, 2008.

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnologia da madeira**: reutilizabilidade. Santa Maria : CEPEF/FATEC. n, 10. p. 33, 1992.

ECHENIQUE, M.R.; PLUMPTRE, R. A. **Guía para el uso de Maderas de Belice y México**. Universidad de Guadalajara, Consejo Británico, Laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Madera, A. C., Universidad de Oxford. Oxford. 1994. 96 p.

FERREIRA, S.; LIMA, J. T.; ROSADO, S.C.S.; TRUGILHO, P.F. Influência de métodos de desdobro tangenciais no rendimento e na qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. **Revista Cerne**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 10-21. 2004.

FLÓREZ, J. B. **Comportamento em serviço da madeira jovem de *Tectona grandis* L.f com diferentes acabamentos para uso em ambiente externo**. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, 109p., Lavras, 2016.

FLÓREZ, J. B.; SILVA, J.R.M.; BRAGA, P.P.C.;LIMA, P.F.T.; TRUGILHO, P. F. Simulação em serviço de pisos de madeira jovem de *Tectona grandis*. **RevistaMateria**. v.20, n. 04, p.1048-1060. 2015.

FLÓREZ, J. B.; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J.T.;HEIN, R. G.; SILVA, J. R. M. Caracterização tecnológica da madeira jovem de teca (*Tectona grandis* L. f.) plantada em Brasil. **Madera y Bosques**. v. 20, n. 1, p. 11-20, 2014.

FOELKEL, C.E.B. **Qualidade da madeira**. Viçosa. MG: CENIBRA/UFV, 1977.

FUENTES S., M. Propiedades tecnológicas de las maderas mexicanas de importancia en la construcción. **Revista Chapingo** Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, v.4, n.1, p. 221-229. 1998.

FUJIWARA, S. Anatomy and properties of Japanese hardwoods II: Variation of dimensions of ray cells and their relation to basic density. **IAWA Bull.** n.s. v. 13, p.397-402. 1992.

GALINA, I.M.; TAKESHITA, S; ANDRADE, A.; JANKOWSKY, I.; LIMA, J.O.; ALMEIDA, N.F.; OLIVEIRA, W.E. **Instalação de pisos de madeira**. PIMADS.São Paulo: Piracicaba. 2013. 53 p. Disponível: < <https://www.pimads.org/publicacoes/> >. Consultado: 20 nov.2020.

GAMEZ, P.J. **Evaluación de las características físicas del *calycophyllum spruceanum* (benth) hooker f. ex chuman "capirona" a tres niveles del fuste, en la Zona de Tingo María. Perú**. 68p. Trabajo de titulación (Ingeniería en Recursos Naturales Renovables Mención Forestales). Facultad de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, 2009.

GIL, J. L. R. A.; BARBOZA, F. S.; CONEGLIAN, A.; DA SILVA, M. F.; DE MORAES, M. D. A.; SETTE JUNIOR, C. R. Características físicas e anatómicas da madeira de *Tectona grandis* L. f. aos 7 anos de idade. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p. 529-538, 2018.

GIMÉNEZ, A. M.; LÓPEZ, C. R. Variación longitudinal de los elementos del leño en *Schipnopsis quebracho-colorado* (Schlecht.) Barkl. et Meyer Anacardiaceae. **Madera y Bosques**. v. 8, n. 2, p. 27-38, 2002.

GLASS, S.; ZELINKA, S. L. **Moisture relations and physical properties of wood**. In: ROSS, R. (Ed.) Wood Handbook: Madison, 2010. p.4-1-4-19.

GONZÁLEZ, G.T. Pisos de madera. **Revista Forestal**. Costa Rica. v. 3, n.7, 9p. 2006.

GROSSER, D. **Defeitos de madeira**. Curitiba. 62 p.: Fupef, n.2, 62p.1980.

GUARIGUATA, M.R.; ARCE, J; AMMOUR, T. CAPELLA, J.L. **Las plantaciones forestales en Perú. Reflexiones, estatus actual y perspectivas a futuro** Documento Ocasional 169. Bogor, Indonesia: CIFOR.; 2017. 40p.

GUTIÉRREZ, A.; BAONZA, M.V. Influencia de los extractivos en las propiedades físico-mecánicas de la madera de *Pinus pinea* L. SECF: Sociedad Española de Ciencias Forestales. III Congreso Forestal Español. España: 2001, 6 p.

HERRERA, Z. **Interrelación entre densidad básica y las características anatómicas del Tornillo (*Cedrelinga catenaeformis* Ducke) y Pumaquiro (*Aspidosperma macrocarpon* Mart)**. 217 p. Disertación (Maestría Ingeniería Forestal)- Escuela de Posgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, 1987.

INTERNACIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMY (IAWA). List of Microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin** 10 (3): 226-332p, 1989.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (**IBAMA**). Normas e procedimentos em estudos de anatomia da madeira: angiospermas. Brasília: Diretoria de Incentivos à Pesquisa e Divulgação (série Técnica 15) 17 p.1992.

INSTITUTO NACIONAL DE CALIDAD (INACAL). **NTP 251.150 2004**: Pisos de madera. Terminología y definiciones. Lima, Perú. 17p. 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **IBDF** - Norma para medição e classificação de toras demadeiras de folhosas. Brasília, DF, 42 p. 1984.

JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA (JUNAC). **Tablas de Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera de 20 Especies del Perú**. Perú: PADT REFORT. Lima, Perú. 53p. 1981.

KEATING, W.; BOLZA, E. **Characteristics, properties and uses of timbers**. Texas A, M. Univ Press, College Station, Texas. 1982.

KLOCK, U.; NUÑEZ, G.I.B.; HERNANDEZ, J.A.; ANDRADE, A.S. **Química da madeira**. 3ª. Ed., Univ. Fed. do Paraná. Curitiba. 2013. 85 p.

KOLLMAN F. **Tecnología de la madera y sus aplicaciones**. Tomo I. Traducción de la 2da edición. Ministerio de Agricultura. Instituto Forestal de Investigación y experiencias de la madera. Madrid España, 1959. 647p.

KOLLMANN, F. F. P.; COTÊ, W. A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1968. v. 1, 592 p.

KRETSCHMANN, D. E. **Mechanical properties of wood. Wood handbook: wood as an engineering material**: chapter 5. Centennial report FPL; GTR-190. Madison, WI: U.S. Dept. of agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010: p 5.1-5.46.

LAMOUNIER, K. C. **Estudo dos polifenóis, atividade antioxidante e antimicrobiana da madeira e casca de Maclura tinctoria (L.) D. Don ex Steud. 773**. Dissertação (Mestrado em Pós-graduação em Química) – Universidade Federal de Uberlândia, 105 p., Uberlândia, 2010.

LECLERCQ, A. 1980. Relationships between beechwood anatomy and its physico - mechanical properties. **IAWA- Bulletin**. v. 1, p. 1-2, 1980.

LEON H., W. y N. ESPINOZA de P. **Anatomía de la madera**. Mérida, VE Universidad de los Andes 396 p. 2001.

LEÓN, W. 2010. Anatomía y densidad o peso específico de la madera. **Revista Forestal Venezolana**. v.54, n.1, p.67.76, 2010.

LEÓN. H. W. Anatomía de la madera de 31 especies de Rubiaceae en Venezuela. **Acta Bot. Venez.** v.34, p.347-379, 2011.

LIMA, I. L.; FLORSHEIM, S. M. B.; LONGUI, E. L. Dimensões anatômicas da madeira de *Tectona grandis* Linn. em função do espaçamento e da posição radial do tronco. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 39, n. 89, p. 61-68, mar.2011

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N.; STAPE, J. L. Influência do desbaste e da fertilização no deslocamento da medula e rachaduras de extremidade de tora de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. **Cerne**, v. 13, n. 2, p. 170-177, 2007.

LIMA, J. T. **Influencia do teor da umidade nas propriedades mecânicas de *Eucalyptus saligna* Smith**. 58 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 1983.

LIMA, J.T. Clonal **variation in the solid wood properties of Eucalyptus**. Dissertação (Doutorado em Ciencia e Tecnología da Madeira) 1999..University of Wales, Bangor, UK. 276p, 1999.

LINARES, C.; MENESES, E.; DIAZ, J. **Monografía sobre Capirona: *Calycophyllum spruceanum***. Proyecto Forestal ITTO PD 37/88. Utilización industrial de nuevas especies forestales en el Perú. Cámara Nacional Forestal, Dirección General de Forestal y Fauna. 1992.Lima, Perú.

MARCHESAN, R. **caracterização tecnológica da madeira de *Hovenia dulcis* Thunberg para fabricação de pisos. 89f.** Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

MARCHESAN, R.; KASPRZAK, L.F.F.; SCHIRIGATTI, E. L.; KLITZKE, R.J.; ROCHA, M.P produção de Lamelas em Serra de Fita Horizontal Múltipla para Fabricação de Piso Engenheirado de Madeira. **Revista Floresta e Ambiente**. v. 20, n.1, p. 124-134. 2013.

MARTINS, M. **Ensaio de simulação de uso em pisos de *Eucalyptus clöeziana* F. Muell, *Eucalyptus microcorys* F. Muell e *Corymbia maculata* Hook.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, 48p., Lavras, 2008.

MARTINS, M.; SILVA, J. R. M.; LIMA, J. T.; GONÇALVES, M. T. T.; FILIPE, A. P. Simulação em uso dos pisos de madeira de *Eucalyptus sp* e *Corymbia maculata*. **Revista Cerne**. Universidade Federal de Lavras Lavras, v. 19, n. 1, p. 151-156, jan./mar. Lavras, 2013.

MARTINS, T.F.R.M. **Dimensionamento de estruturas em madeira. Coberturas e Pavimentos**. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

MEDINA, A. A. et al. **Variación radial y axial de longitud de fibras y elementos de vaso en *Nothofagus nervosa* (Nothofagaceae) de la Patagonia Argentina**. Madera bosques, v. 19, n. 2, p. 7-19, 2013.

MENDEZ, G.S.M. **Innovación y evaluación de la calidad de pisos de madera. Generando capacidad instalada para la transferencia tecnológica a comunidades forestales del Petén**. Proyecto Fodecyt No. 040.06. Guatemala. 2008. p.190.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO (MINAGRI). **Perú Forestal en Números años 2014**". Lima 2015.

MONTEIRO, T. C., DA SILVA, R. V., LIMA, J. T., BARAÚNA, E. E. P., DE CARVALHO, D. M., LIMA, M. T. Influência do lenho de tração nas propriedades físicas da madeira

de *Eucalyptus* sp. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 1, n. 1, p. 6-11, 2010.

MORESCHI, J. **Propriedades tecnológicas da madeira**. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR. 4ª edição, setembro 2014. Brasil.

MOREY, P. **O crescimento das árvores**. São Paulo: E. P. U, 1980. 72 p.

MULATEIRO - *Calycophyllum spruceanum* Database file in the Tropical Plant Database of herbal remedies. Disponible en: <<https://rain-tree.com/mulaterio.htm>>. Acesso en: 10 nov. 2018.

MUNSELL COLOR CHARTS FOR PLANT TISSUES. 1977. Munsell color. Kollmorgen Corporation Baltimore, Maryland. 17 p.

MUÑOZ, A. P; MORENO, P. **Shrinkages and physical properties of *Acacia mangium* Willd, *Tectona grandis* L. f. and *Terminalia amazonia* A. Chev**, Plantation wood from Costa Rica. Universidad de los Andes. p. 287-302, 2013.

NASCIMENTO, M.F; LAHR, F.A.R.; CHRISTOFORO, A.L.; BERTOLINI, M.S.; FIORELLI, J.; SILVA, M.R. Painéis de partículas homogêneas fabricados com resíduos lignocelulósicos e resina alternativa para aplicação em pisos. **Sci. For.** Piracicaba.v.44, n.112, p. 1001-1007. 2016.

NININ, L. La anatomía de la madera y la resolución de problemas tecnológicos. **Revista Forestal Venezolana**. v.37, p.107-116. 1993.

OLIVEIRA, M. B. **Avaliação da qualidade de pisos comerciais confeccionados com madeiras de *Bowdichia nitida* Benth (Spr.), *Dipterxy odorata* (aubl.) Willd, *Mimosa scabrella* Benth e *Tabebuia impetiginosa***. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, 57p., Lavras, 2016.

OLIVEIRA, M. B.; SILVA, J. R. M.; HEIN, P. R. G.; LIMA, J. T. Establishment of quality classes for hardwood floorings by simulated use. **CERNE**, v. 25, n. 1, p. 105-109, 2019.

ORDÓÑEZ, V., G. BÁRCENAS, A. QUIROZ. Características físico-mecánicas de la madera de 10 especies de San Pablo Macualtianguis, Oaxaca. Boletín Técnico N° 21 (LACITEMA). Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Veracruz, 1990. 29 p.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO). 2002. Evaluación de la Capirona.

PADILHA, C. **Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus* sp para utilização em pisos**. 71 p. Dissertação (Mestrado Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavra, Lavras, 2005.

PADILHA, C.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M. da; TRUGILHO, P. F.; ANDRADE, H. B. Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus urophylla* para utilização em pisos. **Scientia Forestalis**, n. 71, p. 141-147, ago. 2006.

PANSHIN, A.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4 ed. New York, US, McGraw-Hill, 1980. 772p.

PANTIGOSO, G. J. **Propiedades Físicas y Mecánicas de la Capirona (*Calycophyllum spruceanum* (Benth) hook ex Schumann) procedente de una plantación experimental en San Alejandro Ucayali-Perú**. 133 p. Trabajo de Titulación (Ingeniería Forestal) - Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, 2009.

PÉREZ, V. **Manual de propiedades físicas y mecánicas de maderas Chilenas**. Santiago, Chile: Proyecto CONAF/PNUD/FAO-CHI 76/003: 1983. 451.p.

PINTO, M. DE L. **Propriedades e características da madeira de teca (*Tectona grandis*) em função da idade**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

PLANTAR “**Consorcio Agroforestal**”. Consultado el 24 de marzo 17. Disponible en. <http://plantarperu.com/plantarperu.pdf>. Consultado: 15 nov 2018.

POLETO, M.; ZATTERA, A.J.; FORTE, M.M.C.; SANTANA, R.M. **Thermal decomposition of wood: influence of wood components and cellulose crystallite size**. Bioresource Technology 109:148-153. 2012.

PORTAL-CAHUANA, L., DE FIGUEIREDO, J., CAMARGO-PACE, J., VIEIRA DOS SANTOS, G., OLIVEIRA-LIMA, D., ALVES-RAMOS, L. Y FIGUEIREDO DO CARMO, J. (2019). Variabilidad radial física y anatómica del leño de árboles de Amburana cearensis (Allemão) A.C.Sm. **Colombia Forestal**, v.22, n.1, p.17-26. 2019.

PUERTAS, P.S.; GUEVARA, S.C.; ESPINOSA, L.M. **Manual de transformación de la madera**. 2013. 122p.

RADOMSKI, M. I.; RIBASKI, J. **Excentricidade da medula em *Grevilea robusta* e *Corymbia citriodora* cultivados em sistema silvipastoril**. Comunicado técnico, Embrapa, Colombo-PR, 2010. 6p.

RATHGEBER, C., V. DECOUX y J. LEBAN. Linking intra-tree-ring wood density variation and tracheid anatomical characteristics in Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). Ann. **For. Sci.** v.63, p. 699-706. 2006.

RECORD, S.J. **The mechanical properties of Wood**. Yale forest school. India. 1914. 141 p.

REFORESTADORA AMAZÓNICA (RAMSA). **Quienes somos**. Lima: RAMSA, 2015. Disponible en: <http://reforestadoraamazonica.com/qui%C3%A9nes-somos.html> > Consultado: 15 noviembre 2018.

REFORT, M. M.; Keil, G. D. Boletín Informativo Contacto Rural. 2012. Disponible en: <<https://contactorural.wordpress.com/2012/06/04/importancia-y-determinacion-de-las-propiedades-mecanicas-de-la-madera/#respond>> Consultado: 25 nov. 2019.

REYNEL, C.; PENNINGTON, T.D.; PENNINGTON, R.T.; FLORES, C.; DAZA, A. **Arboles útiles de la Amazonía peruana y sus usos**. DARWIN INITIATIVE/ICRAF. Lima, Perú, 2003. 536 p.

RIGG, A.P.; MOYA, R. Propiedades de la madera de árboles de siete años de edad de dos poblaciones de *Cedrela odorata* plantadas en un sistema agroforestal. **Madera y Bosque**. v.24, n.1, p. 1-13. 2018.

ROCHA, J.S. **Segurança de estruturas de madeira determinada a partir da variabilidade da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras amazônicas**. 141p. Dissertação (Mestrado Ciência e Tecnologia da Madeira). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1994.

ROCHA, L. T. C.; PEREIRA, S. de J.; GUIMARÃES, K. de L. M.; VALPORTO, M. S.; VIEGAS, V. A. **Madeiras tropicais quanto à densidade e cor para uso em pavimentação**. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 2014, Gramado – RS. v. 1, n. 4, p. 1-10, nov. 2014.

ROCHA, M. P. *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de materia-prima para serrarias. 2000. 157 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

ROQUE, R. M.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da estrutura anatômica do lenho de árvores de *Gmelina arborea* em diferentes condições de clima e de manejo na Costa Rica. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 83, p. 273-285. 2009.

ROWELL, R. M.; PETTERSEN, R.; TSHABALALA, M. A. *Cell Wall Chemistry* from: **Handbook of wood chemistry and wood composites CRC Press**. pp 34-43. 06 sep 2012. Acceso: 30 de marzo de 2012.

SANTANA, M.A.E; OKINO,E.Y.A. Chemical of 36 Brazilian Amazon forest Wood species. **Holzforschung**. v.61, pp. 469-477.2007.

SANTOS, I. S.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M. Avaliação de pisos produzidos a partir de toras de clones de *Eucalyptus* sp. com pequenos diâmetros. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 4, p. 473-478, 2010.

SANTOS, I.S. **Avaliação da madeira de *Eucalyptus* sp. Para produção de piso a partir de toras de pequenos diâmetros**. Dissertação (Mestrado). Minas Gerais: Universidade Federal de Lavras; 2008.

SERVICIO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE (SERFOR). **Anuario forestal y de fauna silvestre 2017**. Ministerio de agricultura y riego. Perú. 124 p. 2019.

SHEBANI, A.N.; VAN REENEN, A.J.; MEINCKEN, M. **The effect of wood extractives on the thermal stability of different wood species**. *Thermochimica Acta* 471: 2008. p.43-50.

SIBILLE, M.A.M. **Guía de Procesamiento Industrial. Ficha Técnica: Capirona**. Lima: USAID/PROMPEX, 2006. 20 p.

SILVA, C.A.C. **Qualidade de pisos maciços de madeiras tropicais**. Dissertação (Mestrado). Cuiabá: Faculdade de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Mato Grosso; 2019.

SILVA, J. C; MATOS. J. L.M.; OLIVEIRA, J. T. S.; EVANGELISTA, W.V. Influência da idade e da posição radial na flexão estática da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Árvore**, Viçosa-MG, v. 29 , n.5, p.795-799, 2005.

SILVA, M. R. **Efeito do tratamento térmico nas propriedades químicas, físicas e mecânicas em elementos estruturais de *Eucalypto citriodora* e *Pinus taeda*** 223p. Dissertação (Doutorado) -Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SORATTO, D. N. **Efeito das variáveis do tratamento térmico nas propriedades da madeira de *Eucalyptus* sp.** 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 63f.

SOTELO, C.; WEBER, J. 2001. **Variation in growth and wood traits among provenances of *Calycophyllum spruceanum* Benth. from the Peruvian Amazon**. Research Report International Tropical Timber Organization Scholarship Programme Reference 090/99A. Pucallpa, Perú.

SOTELO, M.C.; HERNÁNDEZ,R.E.; BEAULIEU, J.; WEBER, J.C. (2006) Genetic variation and correlations between growth and wood density of *Calycophyllum spruceanum* at an early age in the Peruvian Amazon. **Silvae Genet.** v. 55, n. 4-5, p.149-240, 2006.

STANLEY, R.G. Extractives of wood, bark, and needles of the southern pines. **Forest Products Journal**. vol 19, n.11, p.50-56. 1969.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. **IPEF**, Piracicaba, v. 29, p. 37-45, 1985.

TSOUMIS, G. T. **Science and technology of wood**: Structure, Properties, utilization. New York: Chapman & Hall, 1991.

TUSSET; DURAN, P. 1979. **Manual de Maderas Comerciales, Equipos y Procesos de Utilización**. Montevideo Uruguay, 1979. 668 p.

U. S. Department of Agriculture. **Wood handbook**: wood as an engineering material. US: 454 p. 1974

UGARTE, G.L. **Evaluación de factores de sitio en la productividad de plantaciones de *Calycophyllum spruceanum* Benth a través del índice de sitio en la cuenca del Aguaytia, Ucayali, Perú**. 75 p. Disertación (Maestría en Bosques y Gestión de Recursos Forestales) - Escuela de Posgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, 2008.

VÁSQUEZ, Á.; RAMÍREZ, A. **Curso Anatomía E Identificación De Maderas. Colombia**. Facultad De Ciencias Agropecuarias Departamento De Ciencias Forestales. 2011. 70 p. Disponible en:

<[https://www.academia.edu/31757170/CURSO ANATOMÍA E IDENTIFICACIÓN DE MADERAS](https://www.academia.edu/31757170/CURSO_ANATOMÍA_E_IDENTIFICACIÓN_DE_MADERAS)> Consultado: 05 nov. 2019.

VIGNOTE, S.; MARTINEZ, I. **Tecnología de la madera**. Madrid: Ediciones Mundi-2006. 678 p.

WINCK, R.A.; FASOLA, H.E.; ÁREA, M.C. Efecto del raleo sobre las propiedades anatómicas de la madera de *pinus taeda*. Maderas. **Ciencia y Tecnología**. v.17, n.2, p. 391-406, 2015.

ZENID, G. J. **NOÇÕES DE CLASSIFICAÇÃO DE TORAS E DE MADEIRAS SERRADAS**. SÃO PAULO, SP: IPT, 1990. 62 p.

ANEXO 1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA MASA ESPECÍFICA BÁSICA Y DUREZA JANKA

Análisis de varianza para la masa específica básica de la madera

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.03	0.03	30.61	0.00
Residuo	68	0.07	1.00E-03	30.61	
Total	69	0.1			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de dureza Janka de la madera

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	55997889	55997889	50.57	0.00
Residuo	68	75293964	1107264		
Total	69	131291853			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

ANEXO 2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ENSAYO DE CARGA RODANTE

Análisis de varianza para el ensayo de carga rodante en madera cerca a la médula sin acabado con 10, 25 y 50 viajes

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	2	0.04001	0.02007	17.08**	0.00
Residuo	87	0.10189	0.00117		
Total	89	0.1419			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de carga rodante en madera cerca a la médula con acabado con 10, 25 y 50 viajes

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
---------------------	----	----	----	---------	---------

Tratamiento	2	0.05057	0.025285	17.25**	0.00
Residuo	87	0.12749	0.001465		
Total	89	0.17806			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de carga rodante en madera cerca a la corteza sin acabado con 10, 25 y 50 viajes

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	2	0.01487	0.007435	34.87**	0.00
Residuo	87	0.01855	0.000213		
Total	89	0.03342			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de carga rodante en madera cerca a la corteza con acabado con 10, 25 y 50 viajes

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	2	0.0143	0.0077149	36.28**	0.00
Residuo	87	0.01714	0.000197		
Total	89	0.03144			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de carga rodante en madera sin acabado y madera con acabado con 10 viajes

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Bloque	1	0.061404	0.061404	283.74**	0.00
Tratamiento	1	0.000724	0.000216	3.35	0.07
Residuo	117	0.02532	0.000347		
Total	110	0.087448			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de carga rodante en madera sin acabado y madera con acabado con 25 viajes

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Bloque	1	0.077022	0.077022	87.37**	0.00
Tratamiento	1	0.003008	0.003008	87.37	0.067
Residuo	117	0.103142	0.000882		
Total	110	0.183172			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de carga rodante en madera sin acabado y madera con acabado con 50 viajes

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Bloque	1	0.146499	0.146499	119.13**	0.00
Tratamiento	1	0.002316	0.002316	1.88	0.173
Residuo	117	0.143878	0.00123		
Total	110				

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

ANEXO 3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ENSAYO DE APLICACIÓN DE CARGAS EN PEQUEÑAS ÁREAS

Análisis de varianza para el ensayo de hendidura causada por cargas aplicadas en pequeñas áreas en madera cerca médula sin acabado con 50 y 100 viajes

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.02028	0.020282	28.43**	0.00
Residuo	88	0.06277	0.000713		
Total	89	0.08306			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de hendidura causada por cargas aplicadas en pequeñas áreas en madera cerca médula con acabado con 50 y 100 viajes

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.01269	0.012692	20.84**	0.00
Residuo	88	0.05359	0.000609		
Total	89	0.06628			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de hendidura causada por cargas aplicadas en pequeñas áreas en madera cerca corteza sin acabado con 50 y 100 viajes

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.02036	.020362	71.01**	0.00
Residuo	88	0.02523	0.000287		
Total	89	0.0456			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de hendidura causada por cargas aplicadas en pequeñas áreas en madera cerca corteza con acabado con 50 y 100 viajes

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.001164	0.001164	3.96*	0.05
Residuo	88	0.025887	0.000294		
Total	89	0.027052			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de hendidura causada por cargas aplicadas en pequeñas áreas en madera sin acabado y madera con acabado con 50 viajes

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Bloque	1	0.010319	0.010319	46.2	0.00
Tratamiento	1	0.000018	0.000018	0.08 ^{ns}	0.774
Residuo	177	0.03952	0.000223		
Total	179	0.049858			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de hendidura causada por cargas aplicadas en pequeñas áreas en madera sin acabado y madera con acabado con 100 viajes

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Bloque	1	0.024623	0.024623	33.27	0.00
Tratamiento	1	0.010427	0.010427	14.09**	0.00
Residuo	177	0.131007	0.00074		
Total	179	0.166056			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

ANEXO 4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ENSAYO DE IMPACTO DE CAÍDA DE ESFERA DE ACERO

Análisis de varianza para el ensayo de impacto de caída de esfera de acero en madera cerca médula sin acabado y con acabado, altura 15 cm

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.000166	0.000166	0.26 ^{ns}	0.622
Residuo	10	0.006432	0.000643		
Total	11	0.006598			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de impacto de caída de esfera de acero en madera cerca médula sin acabado y con acabado, altura 30 cm

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.000149	0.000149	0.04 ^{ns}	0.839
Residuo	10	0.034471	0.003447		
Total	11	0.034621			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de impacto de caída de esfera de acero en madera cerca médula sin acabado y con acabado, altura 45 cm

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0	0	0 ^{ns}	1
Residuo	10	0.001894	0.000189		
Total	11	0.001894			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de impacto de caída de esfera de acero en madera cerca médula sin acabado y con acabado, altura 60 cm

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.00478	0.00478	9.18*	0.013
Residuo	10	0.00521	0.000521		
Total	11	0.00999			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de impacto de caída de esfera de acero en madera cerca médula sin acabado y con acabado, altura 75 cm

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.000867	0.000867	0.98 ^{ns}	0.346
Residuo	10	0.008856	0.000886		
Total	11	0.009723			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de impacto de caída de esfera de acero en madera cerca médula sin acabado y con acabado, altura 90 cm

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.00478	0.00478	9.18*	0.013
Residuo	10	0.00521	0.000521		
Total	11	0.00999			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de impacto de caída de esfera de acero en madera cerca médula sin acabado y con acabado, altura 105 cm

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.000003	0.000003	0 ^{ns}	0.955
Residuo	10	0.008414	0.000841		
Total	11	0.008417			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de impacto de caída de esfera de acero en madera cerca médula sin acabado y con acabado, altura 120 cm

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.000001	0.000001	0 ^{ns}	0.956
Residuo	10	0.002318	0.000232		
Total	11	0.002319			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de impacto de caída de esfera de acero en madera cerca médula sin acabado y con acabado, altura 135 cm

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.000925	0.000925	2.44 ^{ns}	0.15
Residuo	10	0.003795	0.000379		
Total	11	0.004719			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de impacto de caída de esfera de acero en madera cerca médula sin acabado y con acabado, altura 150 cm

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.001014	0.001014	0.34 ^{ns}	0.572
Residuo	10	0.02977	0.002977		
Total	11	0.030785			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de impacto de caída de esfera de acero en madera cerca médula sin acabado y con acabado, altura 165 cm

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.000009	0.000009	0.02 ^{ns}	0.902
Residuo	10	0.00578	0.000578		
Total	11	0.005789			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de impacto de caída de esfera de acero en madera cerca médula sin acabado y con acabado, altura 180 cm

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.003386	0.003386	0.82 ^{ns}	0.385
Residuo	10	0.041119	0.004112		
Total	11	0.044505			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de impacto de caída de esfera de acero en madera cerca corteza sin acabado y con acabado, altura 15 cm

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.000109	0.000109	0.93 ^{ns}	0.358
Residuo	10	0.001172	0.000117		
Total	11	0.001281			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de impacto de caída de esfera de acero en madera cerca corteza sin acabado y con acabado, altura 30 cm

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.00132	0.00132	1.87 ^{ns}	0.201
Residuo	10	0.00704	0.000704		
Total	11	0.008359			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de impacto de caída de esfera de acero en madera cerca corteza sin acabado y con acabado, altura 45 cm

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.000956	0.000956	4.09 ^{ns}	0.071
Residuo	10	0.002335	0.000234		
Total	11	0.003291			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de impacto de caída de esfera de acero en madera cerca corteza sin acabado y con acabado, altura 60 cm

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.001417	0.001417	1.62 ^{ns}	0.232
Residuo	10	0.008746	0.000875		
Total	11	0.010163			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns = no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de impacto de caída de esfera de acero en madera cerca corteza sin acabado y con acabado, altura 75 cm

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.000939	0.000939	3.61 ^{ns}	0.087
Residuo	10	0.002601	0.00026		
Total	11	0.00354			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de impacto de caída de esfera de acero en madera cerca corteza sin acabado y con acabado, altura 90 cm

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.000094	0.000094	0.07 ^{ns}	0.79
Residuo	10	0.012475	0.001247		
Total	11	0.012568			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de impacto de caída de esfera de acero en madera cerca corteza sin acabado y con acabado, altura 105 cm

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.005384	0.005384	13.45*	0.004
Residuo	10	0.004002	0.0004		
Total	11				

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de impacto de caída de esfera de acero en madera cerca corteza sin acabado y con acabado, altura 120 cm

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.000929	0.000929	1.25 ^{ns}	0.29
Residuo	10	0.007434	0.000743		
Total	11	0.008363			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de impacto de caída de esfera de acero en madera cerca corteza sin acabado y con acabado, altura 135 cm

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.000189	0.000189	0.31 ^{ns}	0.591
Residuo	10	0.006124	0.000612		
Total	11				

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

Análisis de varianza para el ensayo de impacto de caída de esfera de acero en madera cerca corteza sin acabado y con acabado, altura 150 cm.

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.000438	0.000438	0.15 ^{ns}	0.707
Residuo	10	0.029285	0.002929		
Total	11	0.029723			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de impacto de caída de esfera de acero en madera cerca corteza sin acabado y con acabado, altura 165 cm

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.000027	0.000027	0.01 ^{ns}	0.931
Residuo	10	0.034429	0.003443		
Total	11	0.034456			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de impacto de caída de esfera de acero en madera cerca corteza sin acabado y con acabado, altura 180 cm.

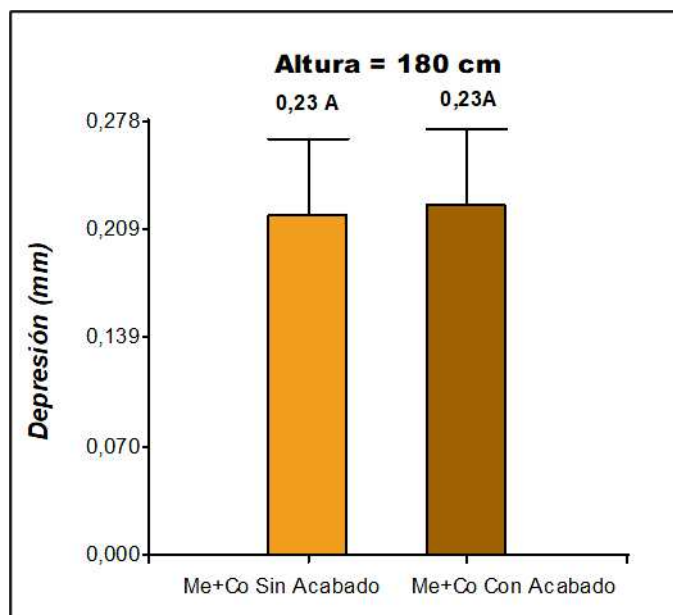
Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.00138	0.00138	0.99 ^{ns}	0.342
Residuo	10	0.013891	0.001389		
Total	11	0.015272			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

ANEXO 5. VALORES MEDIOS DE DEPRESIÓN PROVOCADO POR EL IMPACTO DE LA ESFERA DE ACERO EN LA MADERA DE *C. Spruceanum* CON ACABADO Y SIN ACABADO A LA ALTURA DE 180 cm.



Nota: Los valores medios seguidos de diferente letra, son diferentes entre sí, prueba de Tukey a 5% de probabilidad

FUENTE: La autora 2020

ANEXO 6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ENSAYO DE ABRASIVIDAD

Análisis de varianza para el ensayo de abrasión en madera cerca médula sin acabado y con acabado.

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.006091	0.006091	23.49 **	0.00
Residuo	52	0.013482	0.000259		
Total	53	0.019573			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 = p < .05$)

^{ns} no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de abrasión en madera cerca corteza sin acabado y con acabado.

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.000338	0.000338	1.28 ^{ns}	0.263
Residuo	52	0.013731	0.000264		
Total	53				

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de abrasión en madera sin acabado y madera con acabado

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Bloque	1	0.000704	0.000704	0.48	0.49
Tratamiento	1	0.000573	0.000573	0.39 ^{ns}	0.533
Residuo	105	0.154219	0.001469		
Total	107	0.155166			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

ANEXO 7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ENSAYO DE FRICCIÓN

Análisis de varianza para el ensayo de fricción estática en madera cerca médula sin acabado y con acabado.

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.3687	0.368701	64.4**	0.00
Residuo	68	0.3893	0.005725		
Total	69	0.758			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de fricción dinámica en madera cerca médula sin acabado y con acabado.

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.1775	0.177498	106.41**	0.00
Residuo	68	0.1134	0.001668		
Total	69	0.2909			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de fricción estática en madera cerca corteza sin acabado y con acabado.

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.2724	0.272368	49.18**	0.00
Residuo	68	0.3766	0.005539		
Total	69	0.649			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de fricción dinámica en madera cerca corteza sin acabado y con acabado

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0.21448	0.214481	148.91**	0.00
Residuo	68	0.09794	0.00144		
Total	69	0.31242			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns no significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de fricción estática en madera sin acabado y madera con acabado

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Bloque	1	0.12821	0.128206	22.82	0.00
Tratamiento	1	0.63743	0.637429	113.48**	0.00
Residuo	137	0.76956	0.00364		
Total	139	1.5352			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

Análisis de varianza para el ensayo de fricción dinámica en madera sin acabado y madera con acabado

Factor de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Bloque	1	0.034936	0.034936	22.55	0.00
Tratamiento	1	0.391105	0.391105	252.44**	0.00
Residuo	137	0.21225	0.001549		
Total	139	0.638291			

** significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)